

## 제약업종 부산물 및 화장품 제조업 폐수처리오니 처리토양에 대한 유기화합물 및 Bioassay 분석 평가

임동규\* · 이상범<sup>1)</sup> · 이승환 · 남재작 · 나영은 · 권장식<sup>2)</sup> · 권순익 · 소규호

농업과학기술원 환경생태과, <sup>1)</sup>친환경농업과, <sup>2)</sup>응용미생물과  
(2004년 10월 19일 접수, 2004년 11월 23일 수리)

### Assessment of Organic Compound and Bioassay in Soil Using Pharmaceutical Byproduct and Cosmetic Industry Wastewater Sludge as Raw Materials of Compost

Dong-Kyu Lim\*, Sang-Beom Lee<sup>1)</sup>, Seung-Hwan Lee, Jae-Jak Nam, Young-Eun Na, Jang-Sik Kwon<sup>2)</sup>, Soon-Ik Kwon and Kyu-Ho So (Environmental and Ecology Division, <sup>1)</sup>Organic Farming Division, <sup>2)</sup>Applied Microbiology Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea)

**ABSTRACT** : This study was conducted to assessment organic compound and bioassay (density of inhabited animal, fluctuation of predominant fungi, and survival ratio of earthworm) for finding damage on red pepper by heavily amount application of sludges in soil, which was treated with 3 pharmaceutical byproducts and a cosmetic industry wastewater sludge as raw materials of compost, and for establishing estimation method. HEM contents in the soil treated with pharmaceutical byproducts sludge2 (PS2) and cosmetic sludge (CS) were 0.51, 1.10 mg/kg respectively. PAHs content of PS2 treatment in the soil was 3406.8 ug/kg on July 8. In abundance of soil faunas, the pharmaceutical byproducts sludge2 treatment was the most highest. The next was decreased in the order of pig manure (PM) and the cosmetic sludge treatment. However the other pharmaceutical sludge treatments were remarkably reduced populations of soil inhabited animals. In upland soil treated with organic sludges, the numbers of bacteria and fungi of the pharmaceutical sludge treatment were 736, 909 cfu/g and those of the cosmetic sludge treatment were 440, 236 cfu/g, respectively. The pharmaceutical sludge treatments and the cosmetic sludge treatment in identification of predominant bacteria were not any tendency to compare with non fertilizer and pig manure treatments, but they had diverse bacteria than NPK treatment. In microcosm tests, the survival of the tiger earthworm in five soil samples was hardly affected against the soil of PS1 (20%) after three months treated in the upland. But after six months, survival of PS1 was 80%. At present, raw material of compost was authorized by contents of organic matter, heavy metal (8 elements), and product processing according to "The specified gist on possible materials of using after analysis and investigation among raw materials of compost", however, for preparing to change regulation of raw material of compost and for considering to possibility of application, this study was conducted to investigate toxic organic compound and bioassay methods using inhabited animal, fungi, and earthworm without current regulation.

**Key words:** Pharmaceutical byproducts, Cosmetic wastewater sludge, HEM, PAHs.

### 서 론

산업이 발달함에 따라서 다양한 폐기물이 다량으로 배출되고 있다. 폐기물의 처리는 주로 매립 및 해양투기에 의존하여 왔으나<sup>1)</sup>, 2005년부터 유기성 폐기물의 적매립을 금지할 계획으로 있어서 여러 제조업체에서 생산된 공정오니 및 폐수

처리오니의 처리는 점점 어려워지고 있는 실정이다<sup>2)</sup>. 이에 따라 산업체에서 대량으로 부생되고 있는 유기성 부산물 및 폐수처리 오니에 대한 농업적 재활용에 대한 요구가 증대되고 있다. 이러한 유기성 오니의 퇴비원료로의 활용 여부는 비료관리법의 비료공정규격에서 유기물과 중금속 함량 기준을 정해두고 사전에 분석 검토한 후 결정하도록 규정하고 있다<sup>3,4)</sup>.

이와 같이 퇴비원료물질에 대해서는 현재 단순히 유기물과 중금속 함량을 분석하고 제조공정 등을 검토하여 자원화 가능성 여부를 결정하고 있으나, 앞으로는 유해유기화합물 함

\*연락처:

Tel: +82-31-290-0226 Fax: +82-31-290-0206  
E-mail: dklm@rda.go.kr

량과 토양생물들에 미치는 영향 등을 고려하여 퇴비원료로 적합성을 평가할 수 있는 분석방법의 확립이 요구되고 있다. 이미 유럽 등에서는 유기성 폐기물에 함유된 무기와 유기화합물의 잠재 유해성을 평가할 수 있는 새로운 평가방법을 시도하고 있다<sup>6,7)</sup>.

유해 유기화합물질들은 식물체를 통해 생물농축이 일어나는 주요 오염물질 중 하나로 알려져 있으며 HEM (Hexane extractable materials)은 유해 유기화합물의 총체적인 함량을 나타내며 긴 지방족 사슬을 가지고 있어 특성상 수질 및 토양, 혹은 작물에 피해를 줄 우려가 있다<sup>8)</sup>. PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons)는 소수성 유기화합물로서 탄소고리가 4개 미만인 저분자량인 경우 물에 대한 용해도가 크고 입자에 대한 친화력이 작으며 급성 독성을 일으키며, 탄소고리가 4개 이상인 고분자량의 경우 물에 잘 용해되지 않으며 입자에 대한 친화력이 매우 높아 돌연변이와 발암을 야기하고 토양 또는 퇴적물에 흡착되어 있으면 먹이사슬을 통해 생물농축이 되면서 생태계를 통해 인간의 건강과 생명을 위협하는 난분해성 물질로 알려져 있다<sup>9)</sup>.

토양 중에는 미생물, 원생동물, 미소동물 등 다양하고 무수한 생물들이 서식하고 있어서 토양에 투입되는 유기물질의 막대한 양을 분해 또는 정화할 수 있는 능력을 가지고 있으며<sup>10)</sup>, 이들은 토양활성의 한 주체로서 농업생태계 내 물질순환을 원활하게 하여 토양 건전성을 유지하면서 작물생산성을 높여주는 중요한 기능을 하고 있다<sup>11-13)</sup>. 그러나 토양에 투입되는 유기화합물이 정화될 수 있는 적정량을 초과하여 토양이 오염됨에 따라 토양서식 생물들의 활성과 기능들이 떨어져<sup>14-15)</sup> 유기물 분해력 등 토양 잠재능과 토양생태계 악화로 물질순환 시스템의 불균형 현상이 초래될 수 있다<sup>10)</sup>. 그러므로 토양에 투입되는 오염물질에 의해 토양미생물의 활성을 억제시키거나 생태계를 단순화시키는 작용 등 생물권에 미치는 영향도 동시에 평가하는 것이 필요할 것이다.

따라서 본 연구는 퇴비의 원료로 지정 고시된 제약업종 부산물(공정오니) 및 화장품 제조업 폐수처리오니를 사용한 후 고추를 재배하였으며 시기별로 토양 중 유기화합물 함량과 미소동물과 미생물의 밀도를 측정하고 생물학적 유해성 검정을 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 시험재료 처리 및 시험방법

제약업종 부산물인 공정오니와 화장품 제조업 폐수처리오니를 처리한 후 고추를 재배한 시험의 처리내용은 무비 (NF), 화학비료 (NPK), 가축분뇨 (돈분, PM), 제약업종 오니 3종 (PS1~3), 화장품 제조업 오니 1종 (CS)구로 총 7처리이었다. 처리량은 NPK구는 토양검정시비량을, 돈분 및 오니 처리구는 pot당 2 Mg (수분 50% 함유)을 사용하였다. 돈분 및 오니 처리구는 고추 정식 17일 전인 4월 16일에, NPK구는 정식 1일 전인 5월 2일에 무저 pot (4 m<sup>2</sup>, 2×2 m)에 각각 처리하고 진

미품종의 고추를 재배하였다. 시기별로 토양시료를 채취하여 유기화합물 분석, 미소동물 밀도조사, 미생물 조사, 지렁이를 이용한 생물학적 유해성 검정을 각각 실시하였다.

### 유기화합물 분석

HEM은 EPA방법 9071에 준하여 분석하였으며<sup>16)</sup>, automated Soxhlet 추출기 (Soxtherm, Gerhardt, Germany)를 사용하였다. 토양시료 20 g을 무수황산나트륨 20~50 g과 혼합한 뒤 수분이 제거된 상태에서 원통여과지에 넣어 n-hexane 150 mL를 사용하여 180°C에서 90분간 추출한 후 용매를 증발시키고 방냉한 후 추출한 여액의 무게를 측정하여 건조토양 기준으로 HEM 함량을 나타내었다.

총 PAHs 함량의 정량은 미국환경보호청의 우선감시물질 목록에 포함된 16가지 PAHs (naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorine, phenanthrene, anthracene, fluoroanthene, pyrene, benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoroanthene, benzo(k)fluoroanthene, benzo(a)pyrene, indeno (1,2,3-cd)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene)에 대하여 실시하였다. 토양시료 20 g과 dichloromethane 200 mL를 Soxhlet 장치에 장착한 후 16시간 동안 추출하였으며<sup>16)</sup>, 추출액은 EPA 3630C<sup>17)</sup>에 준하여 silica gel column으로 정제하였다. PAHs는 EPA 8270C<sup>18)</sup>에 따라 fused silica capillary column (DB-5ms, 30 m × 0.25 mm ID × 0.25 μm, J&W Sci. Inc., USA)이 장착된 GC-ITMS (PolarisQ, ThermoFinnigan, USA)를 사용하여 분석하였다.

### 미소동물 밀도

토양의 미소동물의 밀도는 개량된 Tullgren방법으로 측정하였다<sup>19,20)</sup>. 미소동물 분리를 위한 토양시료는 직경 5 cm core로 근권이 주로 분포하는 표토에서 15 cm 깊이까지 처리당 10지점에서 채취하여 혼합하였다. 채취된 토양시료는 건조되지 않도록 지퍼백에 담아 즉시 실험실에서 토양 500 g을 개량된 Tullgren장치에 넣고 72시간 동안 미소동물을 분리하였다. 분리된 미소동물을 stereomicroscope (Model Leica MST31)에서 밀도를 측정하였다.

### 미생물상

미생물상 분석은 토양미생물실험법<sup>21)</sup>에 준하여 희석평판법으로 희석액을 단계별로 조제한 후 해당 선택배지에 시료용액을 도말하여 조사하였다. 즉 세균 및 방선균은 Egg-albumin 한천배지, 사상균은 Rose-bengal 한천배지를 이용하였고, 세균의 경우 28±2°C에서 5일, 방선균은 28±2°C에서 7일, 사상균은 25°C에서 5일 배양하여 출현한 colony를 계수하였다. 또 토양에 투입된 재료의 종류별로 미생물상의 변동을 보기 위하여 우점세균 및 사상균의 분포를 조사하였다. 우점세균의 분류동정은 Egg-albumin 한천배지에서 출현한 콜로니를 순수분리한 후 TSA배지 (Trypticase soy broth 30 g, Agar 15 g)에 순수 배양하여 각각 균체의 DNA를 추출 후 염기서열분석으로 동

정하였다. 분리균주의 DNA 추출은 DNA extraction kit (Toyobo)로 하였으며 universal primer인 fD1과 rP2<sup>23)</sup>를 이용하여 16S rDNA gene을 PCR을 통해 증폭하였다. PCR산물은 510R sequencing primer (5'-TATTACCGCGGCTGCTGGCA-3')와 DNA sequencing kit (BigDye terminator Cycle Sequencing Ready Reactions v3.1; Applied Biosystem)를 사용하여 반응시킨 후, 3100 Genetic Analyser (Applied Biosystems) 약 450~500 염기의 서열을 분석하였다. 염기서열은 NCBI server의 BLAST 프로그램을 통해 속 (genus)까지 동정하였다. 사상균은 콜로니의 형태적인 특성 등에 의하여 변동양상을 분석하였다.

**생물학적 유해성 검정**

생물학적 유해성 검정은 지렁이를 이용한 비노출 개체변동에 의한 평가방법으로 Microcosm test를 적용하였다<sup>23)</sup>. Microcosm test의 Microcosm박스 (14 cm length, 14 m width, and 7 m depth)는 폴리에틸렌으로 구성되어 있으며 뚜껑에 36구멍 (1 mm diameter)이 있는 것을 사용하였다. Microcosm test는 토양시료 300 g을 2 mm 체로 친 후 수분 보유력이 40%가 되도록 수분량을 조절한 후, Microcosm박스 위에 지렁이 10마리를 넣고, 20°C 항온실에 두어서 7일 마다 지렁이의 생존을 변화를 조사하였다.

**결과 및 고찰**

**유기화합물**

제약업종 부산물(공정오니) 및 화장품 제조업 폐수처리오니를 사용한 토양에서 추출한 HEM 및 PAHs 함량은 Fig. 1과 2에 나타내었다. HEM 함량은 이들 부산물 및 폐수처리오니를 토양에 사용한 후 83일째 (7월 8일)에 화장품 오니(CS) 및 제약업종 오니2 (PS2) 처리가 각각 0.51과 1.10 mg/kg로써 가장 높았다. 일반적으로 노말핵산에 추출되어 나오는 물질은 비휘발성의 탄화수소, 탄화수소유도체, 그리이스, 유상물질 및 광유류와 식물성 유지, 동물성 지방, 비누, 그리고 왁스 등을 포함하고 있기 때문에<sup>24,25)</sup> 미국의 EPA에서는 HEM을 BOD, TSS, pH, 병원성 대장균 등과 함께 일반 오염물질로 규정하고 있다<sup>26)</sup>. 그러나 우리나라 토양기준에는 HEM에 대한 항목이 없으나, 환경부의 폐기물 관리법 시행규칙에 매립시설 침출수의 오염물질 배출허용기준에 노말핵산추출물질 함유량에서 광유류는 1~5 mg/kg, 동식물 유지류는 5~30 mg/kg을 초과하지 않도록 규정하고 있어<sup>27,28)</sup>, 토양에도 HEM 함량에 대한 기준 마련 및 대책 수립이 시급한 실정이다.

PAHs 함량은 HEM 함량이 가장 높았던 시기 (처리 후 83일)에 제약업종 오니2(PS2)구에서 3406.8 µg/kg로서 가장 높아 제약업체의 제조과정 중 약품에 관련된 성분의 일부가 혼입된 것으로 생각된다. 우리나라 농경지 토양의 평균 PAHs 함량이 236 µg/kg (23.3~2,834 µg/kg)인 것을 감안하면<sup>29)</sup> 제약업종 오니 중에 함유된 PAHs 물질이 토양에 혼입이 되었음을 알 수 있다.

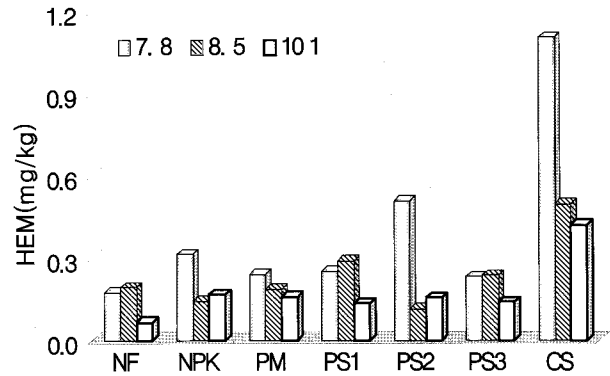


Fig. 1. Contents of hexane extractable materials (HEM) in upland soil treated with organic sludges. NF, Non Fertilizer; NPK, Chemical fertilization; PM, Pig manure; PS, Pharmaceutical Sludge; CS, Cosmetic Sludge.

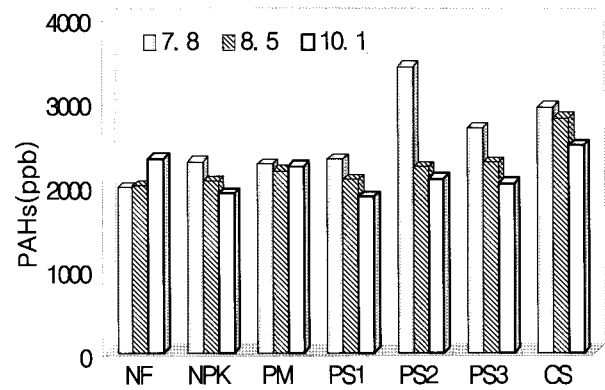


Fig. 2. Contents of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in upland soil treated with organic sludges.

일반적으로 토양에 존재하는 PAHs 물질은 토양 중에서 휘발되거나 흡착 또는 용탈되지 않는다면 식물체에 축적될 수 있기 때문에 이를 미량이라도 섭취한 인축에게는 피해를 줄 수 있을 가능성이 있으므로<sup>30)</sup>, 앞으로 우리나라에서 발생하는 여러 종류의 유기성 오니에 함유되어 있는 유해 유기화합물의 성분함량과 작물에 미치는 영향 등을 고려하여서 퇴비원료의 규제성분으로 기준을 제시가 필요가 있을 것으로 생각된다.

**토양서식 미소동물의 밀도변화**

밭토양에 유기성 오니를 사용하고 토양에 서식하는 미소동물의 밀도변화를 조사한 결과는 생육 중기 (7월 23일)에는 제약오니2구가 토양 중 미소동물의 밀도가 가장 높았으며, 그 다음은 돈분구이고, 화장품 오니구 순으로 낮았으며, 기타 처리구는 차이가 없었다 (Fig. 3). 수확기 (10월 1일) 토양 중 미소동물의 밀도는 제약오니2구와 돈분구가 다른 처리구보다 월등히 높았다. 전체적으로 무비, 화학비료, 제약업종 오니1 및 제약업종 오니3 처리구의 미소동물들의 개체밀도는 제약

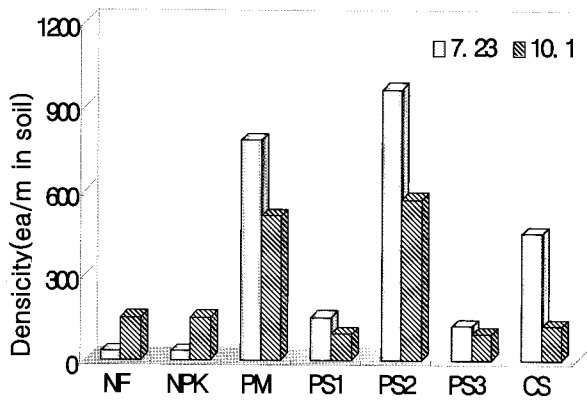


Fig. 3. Influence of soil inhibited animals in upland soil treated with organic sludges.

오니, 돈분 및 화장품 오니 처리구에 비해 현저히 낮았다. 유기성 오니의 종류에 따라서 토양에 서식하는 미소동물의 개체밀도에 차이가 나는 것은 오니에 함유되어 있는 성분의 종류와 함량 등에 크게 영향을 받고 있는 것으로 보였다.

Lee 등<sup>31</sup>은 밭토양에 화학비료를 장기간 연용하면 토양 미소동물들의 서식밀도가 감소하며, 또한 유기물을 함유한 오니를 장기간 투입하면 토양생태계에 부하가 초래되어 미소동물의 개체 서식밀도는 물론이고, 주요 기능인 물질 분해능력도 저하된다고 하였는데 이것은 사용한 오니류에 검출하기 어려운 유해 유기화합물의 함량과 특성 및 오니의 탈수과정에서 사용되는 응집제의 영향이 크다고 하였다. Bonkowski 등<sup>32</sup>은 토양 미소동물들이 분비물질과 미생물을 섭식함으로써 작물의 근권 미생물을 조절하여 간접적으로 작물생육에 영향을 미친다고 하였으며, Cortet 등<sup>33</sup>은 중금속 (Ag · Cd · Co · Cr · Hg · Ni · Pb 등)과 유해물질 (페놀화합물 및 PCBs 등)이 미소동물 (선충 · 응애류 · 톡토기류 · 실지렁이 · 등각류 등)의 활성화와 군집에 제약인자로 작용하기 때문에 토양 미소동물의 서식밀도를 측정함으로써 오염토양 평가에 이들을 생물학적 지표동물로 사용이 가능하다고 주장하였다.

그러나 유기성 오니를 장기간 사용한 토양에 서식하는 토양 미소동물의 종류와 개체의 서식밀도 변화에 따른 토양의 오염정도와 생물학적 지표를 조사하여 사용한 유기성 오니가 퇴비원료로 적합 가능성 여부를 판단한다는 것은 유기성 오니의 특성 등에 따라 토양 미소동물의 밀도변이가 너무 크고 환경조건에 따라 미소동물의 서식이 크게 영향을 받으므로 앞으로 보다 많은 연구를 수행하여서 보완하는 것이 바람직하다고 생각된다.

**미생물상**

시험재료 처리별 bacteria, actinomycetes 및 fungi 균수를 조사한 결과는 Table 1과 같이 세균의 균수는 가축분뇨(PM), 제약업종 오니1·2·3 (PS1, PS2, PS3), 화장품 오니 (CS) 등 유기물을 사용한 구에서 모두 현저히 증가하였으며 NPK < 무

Table 1. Fluctuation of soil microflora in upland soil treated with organic sludges

Treatment	Bacteria ( $\times 10^5$ )	Actinomycetes ( $\times 10^5$ )	Fungi ( $\times 10^3$ )
NF	45 ± 13.4	5 ± 2.1	100 ± 11.3
NPK	6 ± 2.8	0 ± 0.0	42 ± 6.7
PM	235 ± 68.6	9 ± 1.8	104 ± 12.7
PS1	76 ± 27.9	3 ± 1.1	67 ± 16.3
PS2	593 ± 101.5	1 ± 0.7	806 ± 73.2
PS3	64 ± 15.9	5 ± 0.7	108 ± 11.3
CS	340 ± 70.7	5 ± 2.8	158 ± 55.2

Table 2. Identification of predominant bacteria in upland soil treated with organic sludges

Genus	NF	NPK	PM	PS1	PS2	PS3	CS	Total
<i>Achromobacter</i>			1	1		1	2	3
<i>Agrococcus</i>							1	1
<i>Alcaligenes</i>							1	1
<i>Arthrobacter</i>	2	4		5		5	1	17
<i>Aureobacterium</i>			1					1
<i>Bacillus</i>	9	22		6	1	10	3	51
<i>Bosea</i>				1			1	2
<i>Burkholderia</i>	4				6		2	12
<i>Comamonas</i>					1	2		3
<i>Devosia</i>			2					2
<i>Dietzia</i>				1				1
<i>Erwinia</i>				1				1
<i>Flavobacterium</i>			1					1
<i>Flexibacter</i>			3					3
<i>Frateuria</i>				4				4
<i>Friedmanniella</i>				1				1
<i>Janibacter</i>	1							1
<i>Kocuria</i>				2				2
<i>Lactobacillus</i>						1		1
<i>Leifsonia</i>						2		2
<i>Leucobacter</i>				1				1
<i>Lysobacter</i>							2	2
<i>Microbacterium</i>	1		1	1	1		1	5
<i>Micrococcus</i>				1				1
<i>Mycobacterium</i>	1							1
<i>Nocardioides</i>			1					1
<i>Ochrobactrum</i>			3		2			5
<i>Oerskovia</i>			1					1
<i>Paenibacillus</i>	1	2						3
<i>Providencia</i>						1		1
<i>Pseudomonas</i>	1				3		3	7
<i>Ralstonia</i>							1	1
<i>Rhizobium</i>	1				3	1		5
<i>Sanguibacter</i>			1					1
<i>Sphingobacterium</i>						2		2
<i>Sphingomonas</i>			1					1
<i>Sphingopyxis</i>			1					1
<i>Stenotrophomonas</i>	2	2	2			3	3	12
<i>Swingsiella</i>				1				1
<i>Terrabacter</i>							1	1
<i>Variovorax</i>	2				8		4	14
<i>Xanthomonas</i>							1	1
<i>Xylanomicrobium</i>						2	1	3
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>28</b>	<b>19</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>27</b>	<b>182</b>

처리 < PS3 < PS1 < PM < CS < PS2 순으로 균수가 많은 경향을 보였다. 유기물의 분해는 미생물의 활성과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며<sup>34)</sup>, 전반적으로 세균의 균수가 증가하는 경향으로 보아 세균에 의해 활발히 분해되고 있는 것으로 사료되었다. 사상균 수는 처리 및 반복 간에 다소간 차이를 보였으나 대체로 NPK를 제외한 가축분뇨 및 제조업 오니를 투입한 시험구에서 균수가 약간 증가하는 경향을 보였다. 특히 제약업종 오니는 처리 간에 세균 및 사상균의 균수에 있어서 현저한 차이를 보였는데 제약업종 오니2구가 제약업종 오니1 및 제약업종 오니3에 비해 세균은 8~9배, 사상균은 7~12배 이상 많은 균수를 보여 제약업종 오니 간에도 큰 차이가 있음을 알 수가 있었다. 이상의 결과로 시험재료로 사용된 가축분뇨와 제조업 오니 사용시 세균 및 사상균이 다소간 증가하는 경향을 보였는데, 이것은 투입 유기물의 사용효과를 검토한 여러 시험 결과와 비슷한 경향이었다<sup>35-38)</sup>. 그러나 NPK구는 무처리구보다 세균, 방선균, 사상균에서 모두 낮은 균수를 보였다.

유기성 오니를 토양에 투입하였을 때 미생물 생태계에 어떠한 영향을 주는지 평가하기 위하여 토양 중 수가 가장 많은 세균을 대상으로 우점균을 동정하고, 검출된 우점균의 종류를 조사한 결과는 Table 2와 같다. 재료 간에 서균속간 서로 다른 세균의 검출양상을 보였으나, 세균의 종류는 NPK구는 단순하였으나, 제약업종 및 화장품 오니 처리구에서는 다양하게 검출되었다.

사상균의 변동을 알아보기 위하여 우점 사상균의 검출이 가능한 선택배지를 이용하여 균사의 형태적 특징, 콜로니의 색 등으로 같은 종인지 다른 종인지를 판별한 결과는 Fig. 4와 같이 균수는 제약업종 오니2에서 많았으나, 사상균의 종류는 처리 간에 큰 차이를 볼 수 없었다.

퇴비원료로 지정된 유기성 오니를 토양에 시용한 후 토양 미생물에 의한 오니 중 유기물의 분해와 미생물의 활성 등을 평가하기 위해서 미생물의 종류에 따른 균수 등의 검정방법은 동일 오니를 처리한 토양에서 미생물 균수의 변이가 너무 크므로, 실제로 미생물 검정으로 퇴비원료의 적합성에 활용한다는 것은 상당히 어려울 것으로 판단되었다.

**생물학적 유해성 검정**

건전한 토양에 유기물이 많으면 지렁이가 많이 서식하는 것으로 일반적으로 알려져 있으나, 생물학적 유해성 검정시험은 포장의 무저 pot에 시험전 토양을 처리구별로 처리한 후 일정기간이 지난 후 지렁이의 자연 서식밀도를 조사한 결과 무비구, 돈분구 및 오니 처리구에서 채배기간이 오래되지 않은 영향인지는 잘 알 수 없었으나 지렁이가 서식하지 않았다. 이런 현상은 시험재료로 사용한 돈분의 특성 혹은 오니에 잠재하는 독성보다는 다른 요인이 존재하고 있는 것으로 생각되었다.

Microcosm test는 Burrows and Edwards<sup>23)</sup>이 개발한 것으로 토양생태계에 오염물질(유기화합물, 무기화합물)의 잠재 유해성을 예측하기 위하여 지렁이를 이용한 방법이다. 유기성 오니를 처리한 토양에서 지렁이를 인위적으로 투입한 후 지렁이의 비노출 개체변동에 의한 지렁이의 생존율 변화를 Microcosm test를 통하여 토양의 건전성을 평가하였다. 포장에서 각 처리별로 토양을 각각 채취하여 지렁이를 이용하여 생물학적유해성 검정을 실시한 결과는 Fig. 5와 같다. 고추의 생육 주기 (6월 19일)에 채취한 토양에서 지렁이의 생존율은 처리 7일 이후 무비, 화학비료, 돈분, 제약업종 오니2구에서는 영향이 없었으나, 제약업종 오니1, 제약업종 오니3, 화장품 오니구는 영향을 받은 것으로 나타났다. 제약업종 오니3과 화장

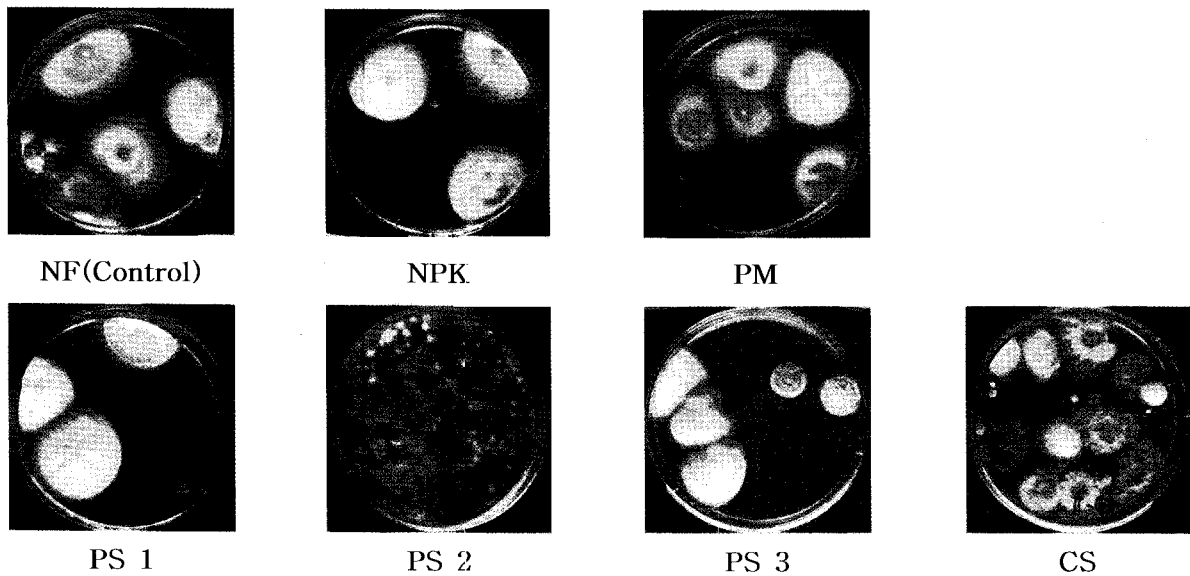


Fig. 4. Fluctuation of predominant fungi in upland soil treated with organic sludges.

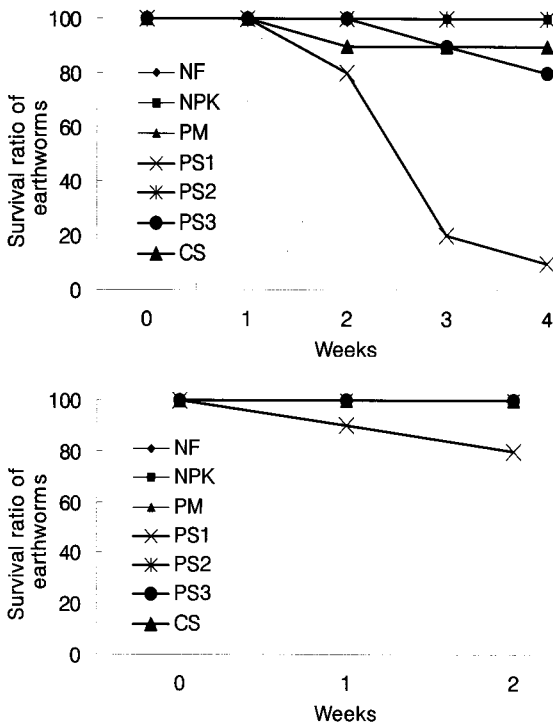


Fig. 5. Evaluation of Microcosm test in upland soil treated with organic sludges. The beginning dates of examination were June 19 (Left) and Oct. 20 (Right), respectively.

품 오니구는 약간 영향을 받아서 80~90% 생존하였으나, 제약업종 오니1구는 처리 2주(14일) 이후에는 급격히 생존율이 떨어져서 4주 이후에는 10%만 생존하였다. 제약업종 오니1을 처리한 토양에서 지렁이의 생존율이 낮은 것은 제약업종 오니1의 유기물 및 질소함량이 높고, 이들 성분이 쉽게 부숙되어서 지렁이의 생존에 영향을 미친 것으로 추측된다.

고추를 수확한 후 약 20일 경과한 다음 채취 (10월 20일) 한 토양에서 지렁이의 생존율은 고추의 생육 중기 (6월 19일) 에 채취한 토양의 지렁이 생존율과 달리 제약업종 오니1구만 약간 영향을 받은 것으로 보였으며 다른 처리구들은 전혀 영향을 받지 않았던 것으로 조사되었다. 이것은 시험재료인 돈분이나 제약업종 및 화장품 오니들이 고추의 생육기간에 대부분 부숙이 되어서 작물에 이용된 것으로 보이나, 제약업종 오니1은 오니의 특성 및 성분 등으로 고추의 생육기간 중에는 완전히 활용되지 못하고 일부 성분이 남아서 영향을 준 것으로 생각되었다.

Na<sup>39</sup>는 생활하수오니와 주정오니를 연용 (50, 25, and 12.5 ton/ha/yr)한 시험에서 4년차 토양은 지렁이에 영향이 없었으나, 8년 토양은 지렁이 치사율에 영향을 준 것으로 나타났다고 하였다. 지렁이의 치사율은 유기물의 종류 및 양과 유기물이 부숙될 때 발생하는 가스 등에 매우 민감하므로, 본 시험과 같이 생 오니를 토양에 사용할 경우에는 일정기간이 경과한 토양에 지렁이 생존을 시험을 수행하는 것이 필요한데 이에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 시기별로

채취한 토양에 대해서 Microcosm test에 의한 지렁이 비노출 개체변동에 의한 평가방법은 유기성 오니를 퇴비원료로 활용 가능성 여부를 평가할 수 있는 하나의 방법으로 체계화하기 위해서는 앞으로 많은 연구를 통하여 보완할 경우에 상당히 좋은 방법으로 확립될 수 있을 것으로 판단된다.

### 요 약

본 연구는 퇴비원료로 지정된 제약업종 부산물(공정오니) 및 화장품 제조업 폐수처리오니를 퇴비로서 활용 가능성을 판단하기 위하여 기존의 일반성분이나 중금속 성분 분석 이외 유기성, 화합물과 기타 여러 생물검정법 등을 활용하여 사용한 오니에 의한 토양 내 비료의 피해를 밝혀내고 이들의 평가방법을 확립하고자 포장시험을 수행하였다.

오니의 처리에 따른 HEM의 함량은 제약업종 오니2(PS2)와 화장품 오니(CS)처리가 각각 0.51, 1.10 mg/kg로 가장 높았고, PAHs의 함량은 제약업종 오니2(PS2) 처리에서 3,406.8 µg/kg로 가장 높았다. 토양에 서식하는 미소동물의 밀도변화는 생육 중기(7월 23일) 및 수확기(10월 1일) 모두 제약오니2 및 돈분 처리구에서 가장 높았으며, 기타 처리구는 차이가 없어 아주 낮았다.

오니의 처리에 따른 세균 및 사상균의 균수는 제약업종 오니2처리에서 각각 736, 909 cfu/g로 가장 많았고, 화장품 오니도 각각 440, 236 cfu/g으로 다른 처리에 비해 많은 경향을 보였다. 제약오니 및 화장품오니 처리시 우점세균은 무비, 돈분처리에 비해 일정한 경향이 없었으나 3요소 처리보다 다양한 세균이 검출되었다. 오니의 처리에 따른 우점사상균은 무처리에 비해 제약업종 오니2와 화장품 오니처리에서 형태적 특징이 다른 콜로니가 검출되었으나 다른 처리는 비슷한 경향으로 종류 간에 큰 차이는 보이지 않았다. Microcosm test를 통하여 오니 처리 후 3개월이 경과한 토양의 오염정도를 평가한 결과는 제약업종 오니3과 화장품 오니처리는 약간 영향을 받아서 80~90% 생존하였으나, 제약업종 오니1처리는 처리 2주(14일) 이후에는 급격히 생존율이 떨어져서 4주 이후에는 10%만 생존하였다. 그러나 6개월이 경과한 토양에서는 지렁이의 생존율은 제약업종 오니1처리만 약간 영향을 받은 것으로 보였으며 다른 처리들은 전혀 영향을 받지 않았던 것으로 조사되었다.

유기성 오니의 퇴비원료로 활용은 비료관리법의 비료공정 규격 중 퇴비의 비교란에 “퇴비의 원료로 사용 가능한 물질과 사용 불가능한 물질”(별표1)에서 “퇴비의 원료 중 사전 분석검토 후 사용 가능한 원료에 대한 지정오령”에는 유기물과 중금속(8성분) 함량(건물중)과 제조공정 등을 검토하여 지정하고 있으나, 지정된 원료가 과연 퇴비원료로 적합한지 잘 알 수 없으며 또한 앞으로 현재의 퇴비원료 규정을 변경할 필요가 있을 경우를 대비하여 퇴비원료의 적합성 여부를 판별할 수 있는 방법의 개발이 필요하다. 따라서 퇴비원료로 이미 지정(02. 12. 31)된 제약오니 및 화장품 오니를 과량으로 토양에

사용한 후 유해 유기화합물, 미소동물, 미생물 및 생물학적(지렁이) 유해성 검정방법의 도입 가능성을 평가하기 위하여 고추를 재배한 포장에서 비료의 피해시험을 실시한 결과 유해 유기화합물과 생물학적(지렁이) 유해성 검정방법은 앞으로 연구를 통해서 보완할 경우 상당히 활용 가능성이 있는 좋은 평가방법인 것으로 생각된다.

### 참고문헌

1. Ministry of Environment. (2003) Environmental Statistics Yearbook.
2. Ministry of Environment (2001) Waste Control Act.
3. Ministry of Agriculture and Forestry (2004) Fertilizer Control Act.
4. Rural Development Administration (2004) Official Specification of Fertilizer.
5. National Institute of Agricultural Science & Technology (2004) The specified gist on possible materials of using after analysis and investigation among raw materials of compost.
6. Hembrock-Heger, A. (1992) Persistent organic contaminants in soils, plants and food, p. 78-89. In : Hall, J. E., Sauerbeck, D. R., and L'Hermite, P. (eds.), Effects of organic contaminants in sewage sludge on soil fertility, plants and animals, Commission of the European Communities, Luxembourg, Belgium.
7. Hall, J. E., Sauerbeck, D. R. and L'Hermite, P. (1992) Effects of organic contaminants in sewage sludge on soil fertility, plants and animals, Commission of the European Communities, Luxembourg, Belgium.
8. Harms, H. (1996) Bioaccumulation and metabolic fate of sewage sludge derived organic xenobiotics in plants, *Sci. Total Environ.* 185, 83-92.
9. Boonchan, S., Britz, M. L. and Stanley, G. A. (2000) Degradation and mineralization of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons by defined fungal-bacterial cocultures, *Appl. Environ. Microbiol.* 66, 1007-1019.
10. Coleman, D. C. and Crossley, D. A. (1996) Fundamentals of soil ecology, Academic Press, New York, USA.
11. Bruggen, A. H. and Semenov, A. M. (2000) In search of biological indicators for soil health and disease suppression, *Appl. Soil Ecol.* 15, 13-24.
12. Herrick, J. E. (2000) Soil quality: an indicator of sustainable land management, *Appl. Soil Ecol.* 15, 75-83.
13. Wolters, V. (2001) Biodiversity of soil animals and its function, *Eur. J. Soil Biol.* 37, 221-227.
14. Banerjee, M. R., Burton, D. L. and Depoe, S. (1997) Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics, *Agric. Ecosyst. Environ.* 66, 241-249.
15. Blakely, J. K., Neher, D. A. and Spongberg, A. L. (2002) Soil invertebrate and microbial communities, and decomposition as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination, *Appl. Soil Ecol.* 21, 71-88.
16. Environmental Protection Agency (EPA) (1994) Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods. SW-846, Revision 2, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, USA.
17. Environmental Protection Agency (EPA) (1996) Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, SW-846, Method 3630C : Silica gel cleanup.
18. Environmental Protection Agency (EPA) (1996) Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/ Chemical Methods, SW-846, Method 8270C : Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), Washington, DC, USA.
19. Lee, S. B., Lim, D. K., Kwon, S. I. and Koh, M. H. (2004) A modified Tullgren apparatus for isolation of soil inhabited animals in agroecosystems, *Eurosoil* 2004, 365-366.
20. Tullgren, A. (1917) Ein sehr einfacher Ausleseapparat fuer terricole tierformen, *Z. Angew. Ent.* 4, 149-150.
21. National Institute of Agricultural Science & Technology (2000) Official Methods of Soil and Plant Analysis.
22. Weisburg, W. G., Barns, S. M., Pelletier, D. A. and Lane, D. J. (1991) 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study, *J. Bacteriol.* 173, 697-703.
23. Burrows, L. A. and Edwards, C. A. (2002) The use of integrated soil microcosms to predict effects of pesticides on soil ecosystems, *Eur. J. Soil Biol.* 38, 245-249.
24. Environmental Protection Agency (EPA) (1994) Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW-846), Method 9071B.
25. Korean Ministry of Environment (1991) Standard methods of waste analysis, Chapter 9. n-Hexane extractable material.
26. Environmental Protection Agency (EPA) (2000) CFR Title 40 : Protection of Environment, Chapter 1 - Environmental Protection Agency.
27. Korean Ministry of Environment (1998) Waste Control Act, Enforcement regulations, Appendix 7.
28. Korean Ministry of Environment (1998) Waste Control Act, Enforcement regulations, Appendix 5.
29. Nam, J. J., Song, B. H., Eom, K. C., Lee, S. H. and Smith, A. (2003) Distribution of polycyclic aromatic

- hydrocarbons in agricultural soils in South Korea, *Chemosphere*. 50, 1281-1289.
30. Reilley, K. A., Banks, M. K. and Schwab, A. P. (1996) Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere, *J. Environ. Qual.* 25, 212-219.
31. Lee, S. B., Lim, D. K. and Kwon, S. I. (2003) Assessments of soil inhabited animals in agricultural upland influenced by waste contaminants, *Agro-Environment Research 2003*, National Institute of Agricultural Science & Technology, R.D.A., p.536- 553.
32. Bonkowski M., Cheng W., Griffiths B. S., Alpeh J. and Scheu, S. (2000) Microbial-faunal interactions in the rhizosphere and effects on plant growth, *Eur. J. Soil Biol.* 36, 135-147.
33. Cortet, J., Vauflery, A. G., Poinsot-Balaguer, N., Gomot, L., Texier, C. and Cluzeau, D. (1999) The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects, *Eur. J. Soil Biol.* 35, 115-135.
34. Nakasaki, K., Aoki, N. and Kubota, H. (1994) Accelerated composting of grass clipping by controlling moisture level, *Waste Manag. Res.* 12, 13-20.
35. 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(1), 76-83.
36. Lee, H. J., Cho, J. S., Bahn, K. N., Heo, J. S. and Shin, W. K. (1998) Changes of the physico-chemical and microbiological properties during composting for composting of sewage sludge, *Korean J. Environ. Agric.* 17(1), 16-21.
37. Nishio, M. and Kusano, S. (1980) Fluctuation patterns of microbial numbers in soil applied with compost, *Soil Sci. Plant Nutr.* 26(4), 581-593.
38. 加藤邦彦, 森正克英, 古藤 實, 杉本正行, 竹下純則, 大森 壓次, 都留信也 (1978) 家畜ふん施用土壤における微生物フロアの變化, *日本土壤肥科學雜誌* 49(5), 353-356.
39. Na, Y. E. (2004) Hazard assessment of organic waste-contaminated soil using earthworm, Ph.D. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.