

유기성자원의 퇴비원료로 활용 가능성 평가방법 개발

임동규* · 이승환 · 성기석 · 소규호 · 신중두 · 이정택

농업과학기술원 환경생태과
(2006년 2월 6일 접수, 2006년 3월 22일 수리)

Development of Method for Possibility Assessment on Organic Resources for Using Raw Material of Compost

Dong-Kyu Lim*, Seung-Hwan Lee, Ki-Seog Seong, Kyu-Ho So, Jung-Du Shin, and Jeong-Taek Lee (Environmental and Ecology Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea)

ABSTRACT: This study was conducted to find a system for screening organic resources with 16 species, 62 samples which were selected to randomizing points from city, province and industrial areas in the whole country. Contents of organic matters were 65.3%~98.0% in all samples so that they were largely over than 60%, raw material regulation of compost. Concentrations of total nitrogen and total phosphorus were 0.7~4.8% and 0.8~5.0, they could look for effect of the nitrogen and phosphorus supply as a raw material of compost. In case of 8 elements concentrations of heavy metal, they were too high to use as raw materials of compost which were over to regulation limits in Cu, Cr, Ni, and As from fiber industry, Ni from food company and leather industry, and the others are adapt to limit levels. HEM contents were the highest to 113 mg kg⁻¹ from fiber industry and PAHs contents were the highest to 3,462 ug kg⁻¹ from paper-mill manufacture. Distribution of PAHs concentrations were naphthalene>phenanthrene>pyrene>fluoranthene>acenaphthene. Microtox[®] EC₅₀ values for bioassay were pharmaceutical company>paper-mill manufacture>industrial area sewage sludge>fiber industry>urban sewage sludge>metropolitan sewage sludge. HEM between Zn, Cu, and Ni was significant at the 99% and between Cd was significant at the 95%, Microtox between Hg and HEM significant at the 95%.

Key Words: Organic resource, Screening system, Heavy metal, HEM, PAHs, Bioassay

서론

산업이 발달함에 따라 폐기물의 발생량도 급속히 증가하여 현재 우리나라에서 발생되고 있는 폐기물의 양(환경부, 2005)은 생활폐기물이 50,007 톤/일로 2003년 대비 1.4% 감소하였고, 사업장 배출 폐기물은 105,018 톤/일로 6.2% 증가하였으며 그 중 유기성오니의 발생량은 18,293 톤/일로 29.4%를 차지하고 있다. 폐기물의 처리방법은 주로 매립 및 해양투기에 의존하고 있으나, 환경부는 2005년부터 일반폐기물 중 유기성 폐기물의 직매립을 금지하고 있으며, 해양수산부도 유기성 폐기물의 해양투기에 대한 규제를 상당히 강화하였고 앞으로 금지할 계획¹⁾으로 있어서 이들 유기성 폐기물의 처리 문제가 점차 커다란 사회문제로 대두되고 있는 실정이다. 최

근 폐기물 처리방법을 보면 소각(5.7%) 및 매립(14.1%)에 비하여 재활용(76.5%)²⁾이 크게 증가하고 있는 실정임으로 앞으로 활용 가능한 유기성 오니의 농업적 활용에 대한 사회적 요구가 점차 증대될 것으로 예상된다.

한 편 Anderson³⁾에 따르면 유럽의 EU에 가입되어 있는 15개국에서 발생하는 하수오니의 양이 2005년에는 1,000 만 톤/년(건물기준)에 이르며 농업에서의 재활용은 하수슬러지 총 생산량의 50%에 도달 될 것⁴⁾이라고 하였다. 하수슬러지를 농지에 재활용할 경우 중금속 집적량을 규제하기 위하여 슬러지 사용량은 Directive 86/278/EEC 규정을 준수하여야 하며, 유럽연합 각 나라의 규제법령은 Anderson^{5,6)}에 잘 기록되어 있다.

우리나라에서도 유기성 오니의 농업적 활용은 종류가 다양하고 종류에 따른 특성을 파악하기 곤란하며 중금속을 다량으로 함유할 가능성도 있어서, 비료관리법의 비료공정규격 중 퇴비의 비고란의 "퇴비의 원료로 사용 가능한 물질과 사

*연락처:

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

용 불가능한 물질”(별표 1)에 사용 가능한 원료, 사전 분석검토 후 사용 가능한 원료 및 사용 불가능한 원료로 구분하고 있다^{7,8)}.

현재 퇴비원료에 대한 자원화 가능성 평가방법은 유기물 및 중금속 함량을 분석하고 제조과정 등을 검토하여 결정하고 있으나, 다양한 경로 및 과정을 거쳐 생산되는 유기성자원에 혼재되어 있는 유해성 여부를 기존의 규제 항목만으로는 농업환경에 미치는 유해 여부를 판단하기 어렵기 때문에 현재의 기준 이외 여러 가지 방법을 통하여 유용한 유기성자원을 선별해 나갈 필요가 있다.

따라서 현재 유기성 오니의 퇴비원료로 활용에 대한 검정 방법은 “퇴비원료 중 사전 분석검토 후 사용 가능한 원료에 대한 지정요령⁹⁾에서 유기물과 중금속(8성분) 등으로 규제하고 있으나, 앞으로 다양하게 배출되는 유기성 오니의 농업적 활용에 대한 요구증대에 대비하기 위해서는 현재의 규제 이외 작물 및 토양환경에 미칠 수 있는 피해를 사전에 선별할 수 있는 사용 가능한 평가방법으로 유해 유기화합물 함량과 bioassay 분석 등을 고려하여 적합성을 판별할 수 있는 종합적인 평가방법의 체계화가 필요하며 이를 위해서 본 시험을 실시하였다.

재료 및 방법

시험재료 선정

시험재료의 선정은 Table 1과 같이 비료공정규격의 부산물비료, 퇴비의 비교란에 규정된 퇴비의 원료로 사용 가능한 물질과 사용 불가능한 물질(별표 1)¹⁰⁾ 중에서 “사용 가능한 원료로 지정된 원료”인 가축분뇨(돈분뇨) 9점(신고대상-PM1 4점, 허가대상-PM2 5점), 음식물류폐기물(FW) 8점(단독주택-FW1, 공동주택-FW2, 감량화 사업장 규모 이하-FW3, 감량화 사업장 규모 이상-FW4 각 2점)과 “사전 분석검토 후 사용 가능한 원료”인 하수오니(SS) 6점(농어촌-SS1), 식품오니(Fo) 2점, 제약오니(Ph) 3점, 제지오니(Pa) 2점, 화장품 오니(Co) 2점, 및 “사용 불가능한 원료”인 하수오니(SS) 21점(중

소도시-SS2 7점, 대도시-SS3 8점, 공단지역-SS4 6점), 피혁오니(Le) 4점, 섬유오니(Fi) 5점으로 총 16종, 62점을 각각 전국 시·도·공단지역 및 산업체에서 2004년과 2005년 2년간 완전 임의로 선별하여 채취하였다.

시험재료 분석

유기성 오니의 일반성분 및 중금속 분석방법은 비료분석법 및 공정규격 해설집¹¹⁾에 준하였고, 중금속 함량은 microwave 으로 분해하여 유도결합플라즈마 발광광도계(ICP-AES, Integra XMP, GBS, Australia)로 측정하였다.

HEM(Hexane extractable materials)은 EPA방법 9071¹²⁾에 준하여, 토양시료 20 g에 n-hexane 150 mL를 사용하여 automated soxhlet 추출장치(Soxtherm, Gerhardt, Germany)에서 180°C에서 90분간 추출한 뒤 여액의 무게를 측정하여 건물기준으로 HEM 함량을 구하였다.

PAHs(Polycyclic aromatic hydrocarbons) 분석은 토양시료 20 g에 dichloromethane 200 mL를 사용하여 soxhlet 추출장치에서 16시간 동안 추출하였으며¹²⁾, 이 추출액은 EPA 3630C¹³⁾에 준하여 silica gel column으로 정제하였다. 분석은 EPA 8270C¹⁴⁾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, Thermo Finnigan, USA)를 사용하여 미국환경보호청의 우선감시물질 목록에 포함된 16가지 PAHs(naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, 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 분석하였다.

Bioassay 검정의 일환으로 실시한 Microtox[®] 독성시험은 Microtox[®] M500(Azur Environmental, USA)을 사용하여 basic test for aqueous extract¹⁵⁾ 방법으로 실시하였다(Microtox[®] manual). 풍건시료 50 g을 250 mL 삼각후라스크에 넣고, Microtox[®] 희석액(Diluent, 무독성의 2% NaCl용액)을 시료

Table 1. Numbers and types of organic resources used in the experiment

Sludge	Pig Manure				Food Waste Sludge		Sewage Sludge			
	Above of report standards	Above of permission standards	Detached house	Apartment house	Below of standards at reducing facility	Above of standards at reducing facility	Rural	Urban	Metro-politan	Industrial area
No. of sample	5	4	2	2	2	2	6	7	8	6
Sludge	Food Company	Pharmaceutical company	Paper-mill manufacture	Cosmetic company	Leather Industry	Fiber Industry	Total			
No. of sample	2	3	2	2	4	5	62			

의 4배인 200 mL을 부은 다음, 48시간 진탕하고, 약 10,000 rpm으로 4°C에서 20분간 원심분리 후 상정액을 분석에 사용하였다. 상기 상정액은 미국 환경청 자료¹⁵⁾에 준하여 2, 4, 8, 32배수로 희석한 다음 잘 혼합하여 미생물의 발광량이 50% 이하로 감소되는 농도인 EC₅₀(Effective concentration) 값을 microtox manual에 준하여 분석하였다. 미생물의 활성도에 대한 검증은 phenol과 zinc sulfate를 사용하여 표준 분석 매뉴얼 및 문헌상의 EC₅₀ 값과 비교하여 일정범위에 들 때 시료 값으로 인정하였다.

유기성자원 선별방법의 유의성 검토

본 시험재료의 성분에 따른 상호 유의성을 분석하기 위하여 통계패키지인 SPSS(Ver. 13.0, LEAD technology, Inc.)를 사용하였다.

결과 및 고찰

일반성분 함량

본 시험에 사용된 재료들의 일반적인 특성은 Table 2와

같다. 시험재료의 pH 범위는 4.8~7.7이었으며 수분함량은 64.1~84.8%이었다. 유기물 함량은 65.3~98.0%로 퇴비원료 기준인 60%를 대부분 크게 상회하는 것으로 나타났으며 특히 음식물류폐기물과 식품오니에서 높았음을 알 수 있었다. 전질소 함량은 0.7~4.8%로서 대부분의 시험재료에서 2~3% 이상의 높은 함량을 보여 퇴비원료로 사용 시 충분한 질소공급효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다. 인산의 경우 0.8~7.5%의 큰 차이를 보였는데 이는 유기성자원의 출처 및 공정에 따라 상이함을 알 수 있었다. 나머지 일반성분인 칼슘, 고토, 칼리 및 염화나트륨 함량은 전반적으로 함량이 낮았다.

국립환경연구원의 보고¹⁶⁾에 의하면 대부분 유기성 폐기물의 유기물 함량이 퇴비원료 규제기준에 적합하며 하수슬러지와 폐수슬러지의 일부가 기준에 미달하였다고 하였다. 이것은 하수슬러지 및 폐수슬러지의 일부는 원료의 종류 및 함량, 처리방법, 기업종류, 생산품 종류 등에 따라서 슬러지의 성상과 특성이 상당히 달라질 수 있음을 의미한다. 따라서 유망한 유기성자원을 퇴비원료로 활용하기 위해서는 반드시 성분분석을 통해 이들 함량이 높은 재료를 선택하는 것이 바람직하

Table 2. Physico-chemical properties of organic resources (DM)

Organic ⁺ Resource	pH (1:5)	MC	OM	T-N	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	NaCl
		----- (%) -----							
PM1	7.1±0.2	70.5±2.3	86.1± 3.9	2.5±0.4	3.5±0.3	1.1±0.5	0.5±0.1	0.3±0.0	0.6±0.2
PM2	6.7±0.4	66.4±1.3	83.4± 3.0	2.7±0.5	3.0±0.4	0.6±0.2	0.3±0.0	0.4±0.1	0.8±0.2
FW1	6.0±0.2	84.0±0.2	93.0± 4.1	2.8±1.2	2.5±0.2	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.1	0.3±0.0
FW2	5.3±0.2	81.6±0.4	93.8± 2.6	3.0±1.8	1.7±0.8	0.1±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	0.5±0.0
FW3	5.3±0.7	78.4±3.0	88.1± 6.0	3.2±1.1	2.0±0.1	1.0±0.6	0.2±0.1	0.2±0.0	0.9±0.1
FW4	4.8±0.1	78.0±0.1	93.6± 3.2	2.4±1.3	3.1±1.6	1.1±0.7	0.1±0.1	0.1±0.0	1.1±0.3
SS1	6.3±0.3	81.9±1.2	82.0± 7.5	3.7±0.8	3.6±1.5	0.9±0.7	0.2±0.2	0.1±0.1	0.3±0.2
SS2	6.0±0.2	79.0±2.2	77.4± 8.2	2.7±0.9	5.0±1.4	1.0±0.6	0.3±0.1	0.2±0.2	0.7±0.8
SS3	6.2±0.2	81.6±1.4	78.0± 6.6	3.1±0.8	4.1±1.4	1.0±0.7	0.2±0.2	0.2±0.2	1.1±1.0
SS4	6.1±0.3	80.1±1.8	79.1± 8.7	3.1±0.7	7.5±0.7	1.5±0.8	0.2±0.1	0.1±0.1	0.4±0.3
Fo	6.5±0.3	84.8±3.8	98.0± 0.8	1.4±0.1	3.9±0.3	1.2±0.1	0.4±0.1	0.4±0.1	0.7±0.4
Ph	6.5±0.9	81.9±4.8	71.9±12.8	4.8±1.6	2.2±0.1	0.1±0.0	0.2±0.1	0.0±0.0	0.2±0.1
Pa	6.6±0.2	64.1±0.3	79.3± 1.6	0.8±0.1	2.1±0.1	2.4±0.2	0.9±0.2	0.4±0.1	0.4±0.0
Co	7.7±0.1	77.0±2.7	65.3± 2.0	0.7±0.3	0.8±0.5	0.1±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.3±0.0
Le	7.4±0.3	69.8±5.8	77.6± 4.7	3.8±0.8	2.6±0.3	0.6±0.5	0.1±0.1	0.1±0.1	0.2±0.1
Fi	6.6±0.6	74.0±6.1	72.2± 8.3	2.6±1.6	2.0±0.5	0.8±0.3	0.4±0.2	0.2±0.2	0.2±0.1
Limit ⁺⁺	-	-	60	-	-	-	-	-	-

⁺ MC: Moisture content, PM1: Pig manure. above of report standards, PM2: Pig manure. above of permission standards, FW1: Food waste sludge. detached house, PW2: Food waste sludge. apartment house, PW3: Food waste sludge. below of standards at reducing facility, PW4: Food waste sludge. above of standards at reducing facility, SS1: Sewage sludge. rural, SS2: Sewage sludge. urban, SS3: Sewage sludge. Metropolitan, SS4: Sewage sludge. industrial area, Fo: Food company, Ph: Pharmaceutical company, Pa: Paper-mill manufacture, Co : Cosmetic company, Le : Leather Industry, Fi : Fiber industry.

⁺⁺ Limit : Standard contents level of organic compost raw materials regulated with dry matter weight in fertilizer management law.

다고 생각된다.

중금속 함량

현재 비료관리법상 비료공정규격에 제시되어 있는 퇴비원료의 중금속 규제성분은 8가지(Zn 900, Cu 500, Cr 300, Pb 150, Ni 50, As 50, Cd 5, Hg 2 mg/kg 이하)이며 이들 성분을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 시험재료 중 기준치를 초과한 성분을 살펴보면 크롬은 섬유오니가 1,157 mg kg⁻¹ 이었고, 니켈은 식품오니가 111 mg kg⁻¹, 피혁오니가 120 mg kg⁻¹, 섬유오니가 138 mg kg⁻¹으로 기준치를 크게 초과하였으며, 비소에서 섬유오니가 52 mg kg⁻¹으로 기준치를

약간 초과하는 것으로 나타났다. 나머지 아연, 구리, 납, 카드뮴 및 수은에서는 기준치를 초과하는 시험재료는 없었다.

유기성 폐기물의 중금속 함량 조사에서 권 등¹⁷⁾은 국내에서 발생하는 하수오니를 퇴비원료 기준과 비교하였을 때 중금속 규제성분 중 어느 한 성분이라도 함량이 초과하는 비율은 광역시 및 대도시는 100%, 중소도시는 95%, 농촌지역은 93%로 나타났다고 하였다. 또한 임 등¹⁸⁾은 폐수배출업소 종류별 폐수오니의 중금속 함량에서 섬유오니는 아연·크롬·납·니켈성분, 화장품오니는 아연·구리·니켈성분이, 피혁오니는 크롬·니켈성분이 퇴비원료의 규제기준을 초과한 것으로 나타났다고 하였다. 국립환경연구원의 보고¹⁶⁾에서도 하수울

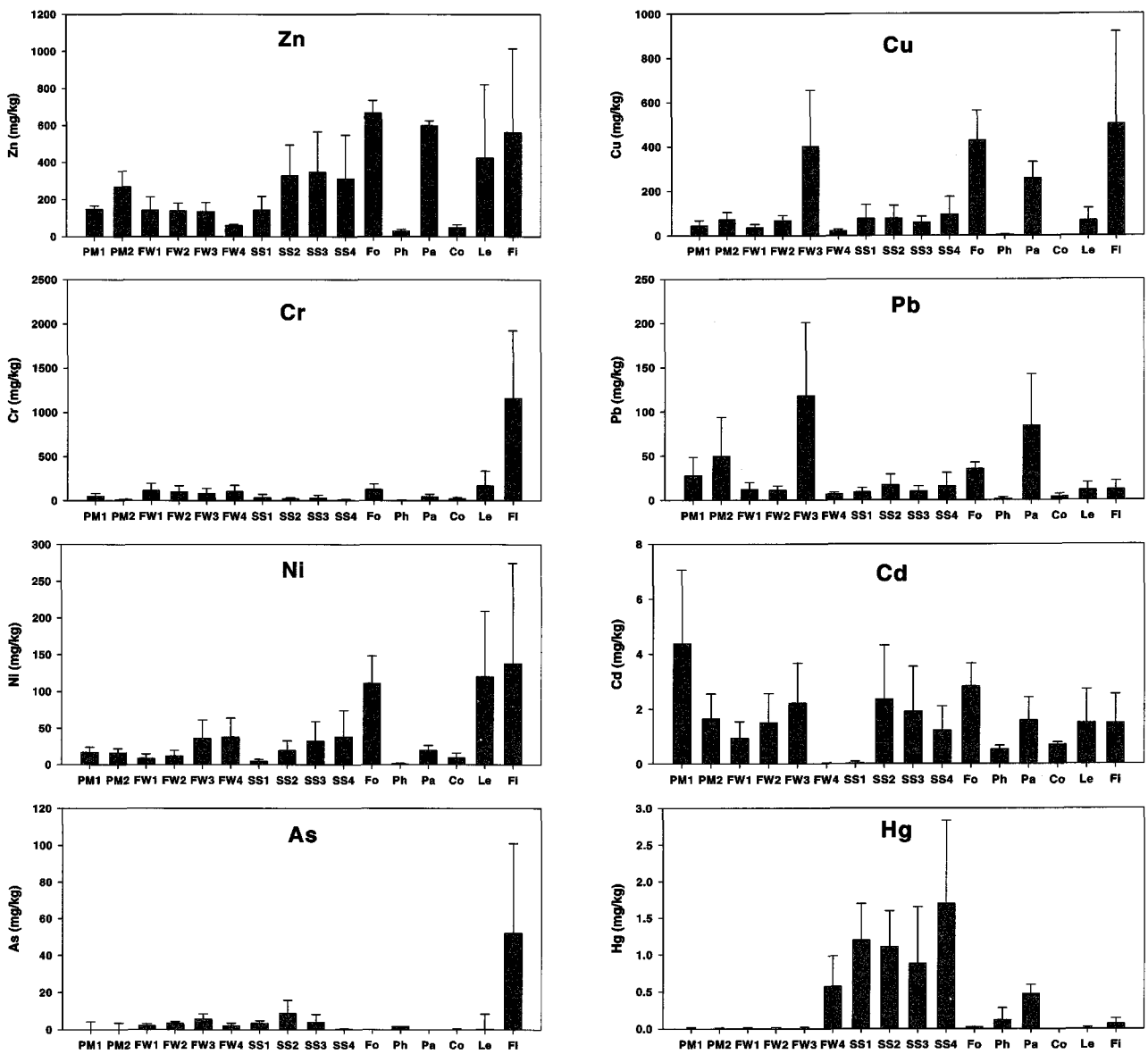


Fig. 1. Concentrations of 8 heavy metals in organic resources.

※ Standard contents level of organic compost raw materials regulated with dry matter weight in fertilizer management law : Below Zn 900, Cu 500, Cr 300, Pb 150, Ni 50, As 50, Cd 5, Hg 2 mg/ kg

러지와 폐수슬러지의 대부분이 퇴비원료 규제기준을 초과하였다고 하였는데, 이는 본 시험의 결과와 비슷하였다. 그러므로 퇴비원료에서 현 중금속 성분 이외 다른 중금속 함량들을 규제하기 위해서는 퇴비원료로 활용할 유기성 오니의 성분함량을 분석하기 전에 생산과 관련된 모든 자료를 면밀히 검토하는 것이 필요하다고 판단된다.

유기화합물 함량

시험재료에 함유되어 있는 유해 유기화합물의 함량을 알아보기 위하여 HEM과 PAHs를 분석한 결과를 Fig. 2로 표시하였다. HEM 함량은 다른 재료에 비하여 섬유오니가 113 mg kg⁻¹으로 가장 높았고, 제약오니가 1 mg kg⁻¹으로 가장 낮았으며, 나머지 유기성자원에서는 20~40 mg kg⁻¹ 범위로 비슷한 경향이었다. HEM의 경우 외국에서 퇴비원료로 규제하고 있는 국가는 없지만 안전한 농업환경 및 식량자원 생산을 위해서는 더욱 많은 연구를 통하여 규제할 필요할 것으로 생각된다. PAHs 함량의 경우에는 제지오니에서 3,462 ug kg⁻¹으로 가장 높았고, 그 다음은 피혁오니>중소도시 하수오니>감량화사업장 이상 음식물류폐기물>단독주택 음식물류폐기물>대도시 하수오니 순으로 낮아졌으며, 나머지 유기성자원에서는 약 1,500 ug kg⁻¹ 이하 이었으며, 허가대상 가축분뇨가 391 ug kg⁻¹으로 가장 낮은 함량을 보였다.

임 등¹⁹⁾은 유기성자원의 재료별 HEM 함량에서 섬유오니가 다른 재료보다 2.9배 이상 높았고, PAHs 함량은 제지오니가 가장 높았으며 그 다음은 피혁오니·하수오니 순으로 낮아졌다고 하였는데, 이것은 본 성적과 동일한 경향이었다. 또한 외국의 경우 Smith²⁰⁾도 하수오니에 함유되어 있는 PAHs 함량이 1~10 mg kg⁻¹정도 된다고 하여 본 성적과 비슷하였다.

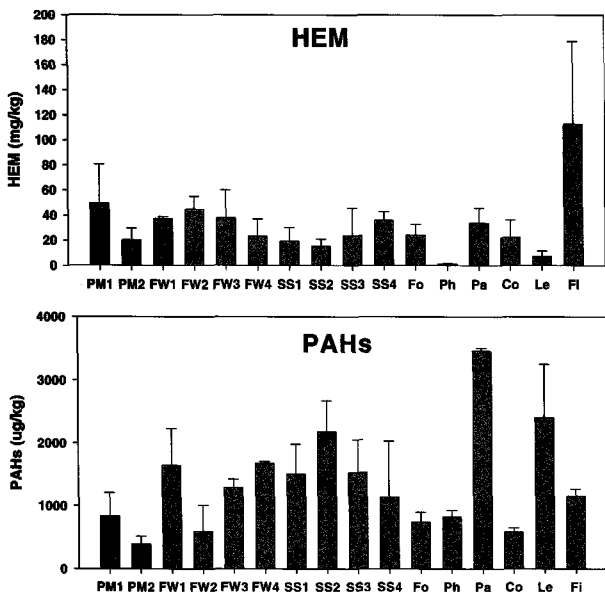


Fig. 2. Concentrations of HEM and PAHs in organic resources.

Fig. 3은 시험재료에 함유되어 있는 총 PAHs 함량 중에서도 미국 환경보호청(U.S.A. EPA)의 우선 감시물질 목록에 포함된 16가지 PAHs 화합물이 어떤 분포로 존재 하는지 알아보기 위하여 그림으로 나타낸 결과이다. PAHs 화합물의 분포는 naphthalene> phenanthrene> pyrene> fluoroanthene> acenaphthene 순으로 나타났다.

임 등¹⁹⁾이 조사한 유기성 자원의 PAHs 화합물의 분포는 anthracene, phenanthrene, naphthalene, acenaphthene, fluorene의 화합물이 다른 화합물보다 많은 것으로 보고하였는데 이것은 본 성적과 유사하였다. CEC²¹⁾보고서에 따르면 Denmark에서는 PAHs 중 acenaphthene, phenanthrene, fluorene, fluoroanthene, pyrene, benzo(b+j+k)fluoroanthene, benzo(a)pyrene, benzo(ghi)perylene, indeo(1,2,3-cd)pyrene에 대하여 2000년 6월 30일까지는 6 mg kg⁻¹ 이하로 규제하였으나 그 해 7월 1일부터 3 mg kg⁻¹으로 강화하였고, France의 경우 fluoroanthene은 5 mg kg⁻¹, benzo(b)fluoroanthene 2.5 mg kg⁻¹, benzo(a)pyrene 2 mg kg⁻¹ 이하로 각각 규제하고 있으며, Sweden의 경우에는 Swedish EPA에서 지정한 6가지 화합물의 합이 3 mg kg⁻¹ 이하가 되도록 규제하고 있다. 외국의 PAHs 화합물에 대한 규제항목은 본 성적과 약간 상이하였으나, naphthalene을 제외하고는 4가지 화합물인 phenanthrene, pyrene, fluoroanthene, acenaphthene은 Denmark에서도 규제하고 있었다. 따라서 PAHs 화합물의 분포와 각 성분에 따른 유해 유무 및 기준에 대해서는 앞으로 많은 연구를 통하여 구명할 필요가 있다고 생각된다.

Microtox[®] 생물검정

형광미생물을 이용한 생물검정법의 일환으로 실시한 Microtox[®] 분석의 EC₅₀ 결과는 Fig. 4와 같다. 사용 가능한 원료로 지정된 원료인 가축분뇨(신고대상, 허가대상), 음식물류폐기물(단

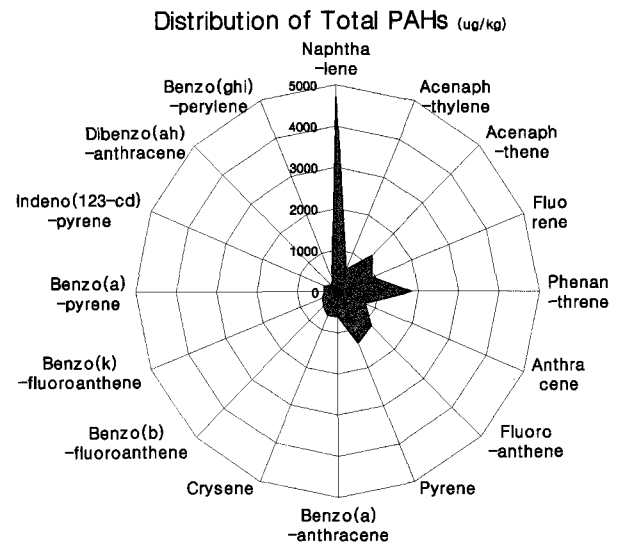


Fig. 3. Distribution of 16 PAHs in organic resources.

독주택, 공동주택, 감량화사업장 규모이하, 감량화사업장 규모 이상)에서 EC₅₀ 값이 각각 132, 90, 126, 117, 110, 105 g L⁻¹로 나왔고 사전 분석검토 후 사용가능한 원료인 농어촌지역 생활하수오니, 식품오니, 제약오니, 제지오니, 화장품오니에서 각각 63, 75, 23, 38, 99 g L⁻¹이었으며 사용 불가능한 원료인 생활하수오니(중소도시, 대도시, 공단지역), 피혁오니 및 섬유오니에서는 각각 54, 57, 45, 21, 46 g L⁻¹이었다.

남 등²²⁾은 하수오니를 장기(7년간) 연용한 토양의 독성평가에서 Microtox[®] 생물검정법은 하수오니의 종류나 사용량에 따른 독성정도를 잘 평가할 수 있으므로 하수오니의 실제 환경영향 평가를 위해서는 화학적 분석 이외 생물학적 검정법이 수반되어야 한다고 주장하였다. Microtox[®] 분석법은 형광미생물(*Vibrio fishery*)을 이용하여 여러 가지 독성물질에 따라 발광 저해도를 비교하여 유해성 여부를 밝혀내는 생물검정법으로서 이미 여러 연구에서 그 효과가 입증되고 있으며, 신속성과 간편성이 있어 앞으로 가장 있는 생물검정법이다. 그러나 Microtox[®] 생물검정법은 형광미생물의 발광량에 미치는 정도가 재료에 따라 변이 폭이 크므로, 앞으로 좀 더 세밀한 연구가 뒷받침 된다면 유기성자원 내에 혼재되어

있는 미지의 유해물질을 함유하고 있는 자원까지도 선별해 낼 수 있는 좋은 방법으로 활용될 수 있으리라 생각된다.

유기성자원 선별방법의 유의성 검토

비료공정규격에서 규제하고 있는 중금속(8성분)과 선별체에 포함하고자 하는 분석방법인 HEM, PAHs, Microtox 생물검정법들 간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 3과 같다. HEM함량은 Zn, Cu, Ni 상관에서 99% 수준에서 높은 유의성을 보였고 Cd에서도 95% 수준에서 유의성을 보였으며, Microtox는 Hg과 HEM의 상관에서는 95% 수준의 유의성을 보였다.

남 등²²⁾의 하수오니를 연용한 토양에 대한 연구에서도 중금속 함량과 HEM, PAHs, 및 Microtox EC₅₀ 값과 상호 비교하였는데 이때 Microtox EC₅₀ 값은 Cu, Cr, Pb, 및 Ni과 높은 부의 상관을 보였으며, Microtox EC₅₀ 값과 HEM, PAHs 함량과의 관계에서 HEM은 결정계수(r²) 값이 0.78로 상관이 높았으나 PAHs는 결정계수가 0.58로서 상대적으로 낮았다고 하였는데, 이것은 본 성적과 약간 비슷한 경향이였다. Schnaak 등²³⁾과 Bodzek 등²⁴⁾은 하수오니에서 Microtox EC₅₀ 값과 PAHs 상관에서 결정계수가 낮은 것은 하수오니에는 PAHs라는 단일 유기화합물만 존재하지 않고 그 외 다른 많은 유기화합물이 함께 존재한다는 것을 의미한다고 하였다. 일반적으로 유기성 폐자원은 단일 화합물로 구성되어 있지 않고 다양한 화합물이 혼재되어 있으므로 개별적으로는 별 영향이 없더라도 여러 화합물이 복합적으로 존재할 때 나타나는 독성평가는 더욱 더 어렵다. 그러므로 생물검정법은 개별 화합물을 분석하는 화학분석법보다는 이러한 여러 화합물의 복합적인 영향을 종합적으로 평가하는데 매우 유용할 것이라 생각된다.

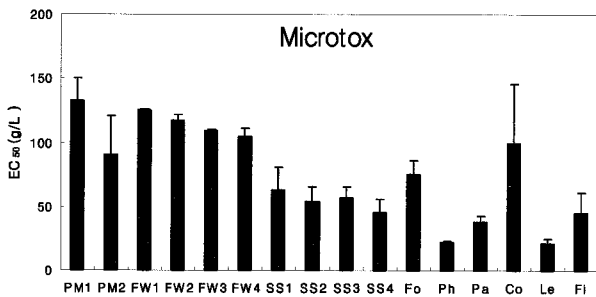


Fig. 4. Microtox[®] 50% effective concentration (EC₅₀) values of organic resources.

Table 3. Pearson correlation coefficients of heavy metals and toxicity parameters in organic resources.

	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd	As	Hg	HEM	PAHs
Cu	0.73**									
Cr	0.07	0.10								
Pb	0.24	0.39**	-0.01							
Ni	0.78**	0.79**	0.16	0.21						
Cd	0.41**	0.29*	0.02	0.37**	0.31*					
As	-0.11	-0.10	0.93**	-0.11	-0.10	0.01				
Hg	0.05	-0.02	-0.13	-0.04	-0.09	-0.04	-0.12			
HEM	0.37**	0.64**	0.06	0.17	0.40**	0.29*	-0.08	-0.09		
PAHs	0.02	-0.04	-0.06	0.07	-0.01	-0.04	-0.02	0.22	-0.1	
EC ₅₀	0.12	0.12	-0.10	-0.18	0.14	0.08	-0.04	-0.27*	0.27*	-0.12

* Indicates significance at the 95% level of probability.

** Indicates significance at the 99% level of probability.

적 요

본 연구는 다양한 종류의 유기성자원 중에서 퇴비원료로의 활용 가능성이 충분하고 퇴비로 제조되어 농지에 사용하였을 때 유해성분이 적은 자원을 선별하기 위해 현재 비료관리법상 퇴비원료기준에 규제하고 있는 유기물함량과 중금속(8성분)에 유기화합물(HEM, PAHs)과 Bioassay(Microtox 생물검정법)을 추가하여 규제기준으로 활용 가능성을 검토하기 위해 '04~'05년(2년) 전국의 유기성자원 16종, 62점을 무작위로 선정하여 분석하였다. 시험재료의 유기물함량은 65.3~98.0%로서 기준치인 60% 이상을 크게 상회하였고, 전 질소함량과 인산함량은 퇴비원료로서 질소 및 인산성분의 공급을 기대할 수 있을 것으로 생각되었다. 중금속의 경우 섬유오니가 Cr, Ni 및 As에서, 식품오니 및 피혁오니는 Ni 함량에서 퇴비원료의 기준치를 초과하여 퇴비원료로 사용이 곤란하였고, 나머지 성분함량들은 모두 기준치보다 낮았다. HEM 함량은 섬유오니가 113 mg kg⁻¹으로 다른 재료에 비해 상당히 높았으며, PAHs 함량은 제지오니에서 3,462 ug kg⁻¹으로 가장 높았고 그 다음은 피혁오니>중소도시 하수오니 순으로 낮았다. PAHs 성분별 분포는 naphthalene, phenanthrene, pyrene, fluoroanthene, acenaphthene이 다른 화합물들보다 많았다. Microtox분석에서 EC₅₀값은 피혁오니에서 가장 낮았고, 제약오니<제지오니<공단지역 하수오니<섬유오니 등의 순으로 낮아졌다. 각 분석치 항목 간의 상관관계는 HEM이 Zn, Cu, Ni과 99% 및 Cd와 95% 수준에서, Microtox EC⁻¹ 값은 Hg과 HEM에서 95% 수준에서 유의성을 보였다.

현재 우리나라에서 유기성자원의 퇴비원료로 활용에 대한 기준은 유기물함량과 중금속(8성분: Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, As, Hg)으로 규제하고 있으나, 일반성분(B) 및 중금속(Co, Mo, Se)을 비롯하여 유해화합물(HEM, PAHs, PCBs 등) 및 생물검정법(Microtox 등)에 대한 추가적인 보완연구를 통해 퇴비원료로 활용 가능성 여부를 평가할 수 선별체계(일반성분⇒중금속⇒유기화합물⇒Bioassay) 및 각 선별체계별 활용기준 항목에 대한 규제기준이 설정된 후 이들의 각 성분함량을 통과하고 최종 비효시험(포장)을 마친 경우에는, 유용한 유기성자원의 농업적 활용으로 안전한 작물재배 및 농업환경을 보전할 수 있다고 생각된다.

참고문헌

1. Ministry of Environment. (2004) Home page (<http://www.me.go.kr>).
2. Ministry of Environment. (2005) Home page (<http://www.me.go.kr>).
3. Anderson. (2002) Disposal and recycling routes for sewage sludge, Part 4-Economic Report, Report for the EU Commission.
4. Frost and Sullivan. (2003) Strategic analysis of the sludge

disposal market, Available from:<www.frost.com>.

5. Anderson. (2001a) Disposal and recycling routes for sewage sludge, Part 2-Regulatory Report, Report for the EU Commission, 65 pp.
6. Anderson. (2001b) Disposal and recycling routes for sewage sludge, Part 3-Scientific and Technical Sub-component Report, Report for the EU Commission, 151 pp.
7. Ministry of Agriculture and Forestry. (2004) Fertilizer Control Act.
8. Rural Development Administration. (2004a) Official Specification of Fertilizer.
9. National Institute of Agricultural Science & Technology. 2004. The specified gist on possible materials of using after analysis and investigation among raw materials of compost.
10. Rural Development Administration. (2004b) Possible materials and non possible materials of using as raw materials of compost (Asterisk table 1).
11. National Institute of Agricultural Science & Technology. (2003) Official Methods of Analysis of Fertilizer and Explanation Book for Official Specification of Fertilizer.
12. U. S. Environmental Protection Agency (EPA). 1994. Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW-846), Method 9071B, EPA, Washington D.C., USA.
13. U. S. Environmental Protection Agency (EPA). (1996a) Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, SW-846, Method 3630C : Silica gel cleanup.
14. U. S. Environmental Protection Agency (EPA). (1996b) 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.
15. U. S. Environmental Protection Agency (EPA). (1988) Protocols for short term toxicity screening of hazardous waste sites, EPA/600/3-88/029, EPA, Washington D.C., USA.
16. National Institute of Environmental Research (NIER). Construction on comprehensive management technique of organic waste (I), Disposal condition and characteristic survey of organic waste, 542 pp.
17. Kwon, S. I., Lim, D. K., Lee, S. B., Kim, K. H., and Koh, M. H. (2003) Investigation of sewage sludge as raw compost material in Korea. *Kor. J.*

- of *Environ. Agric.* 22(2), 137-147.
18. Lim, D. K., Lee, S. B., Kwon, S. I., Nam, J. J., Na, Y. E., Kwon, J. S., Kim, W. J., and Han, S. G. (2003) Study on sludges of waste water disposal plant for practical application as raw materials of organic compost, *J of KOWREC* 11(2), 97-109.
 19. Lim, D. K., Lee, S. H., Kwon, S. I., So, K. H., Seong, K. S., Koh, m. h., and Lee, J. T. (2005) Study on the screening system of organic resources for agricultural utilization, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(2), 92-100.
 20. Smith. S. R. (2000) Are controls on organic contaminants necessary to protect the environment when sewage sludge is used in agriculture? *Prog. Environ. Sci.* 2(2), 129-146.
 21. CEC. (2000) Working document on sludge, Third draft, Brussels 27 April 2000, DG. Environment, 18pp.
 22. Nam, J. J., Lee, S. H., Kwon, S. I., Hong, S. Y., Lim, D. K., Koh, M. H., and Song, B. H. (2004) Toxicity assessment of the soil by bioassay following a long-term application of sewage sludge, *Kor. J. of Environ. Agric.* 23(4), 259-264.
 23. Schnaak, W., Kuchler, Th., Kujawa, M., Henschel, K. P., SuBenbach, D., and Donau, R. (1997) Organic contaminants in sewage sludge and their ecotoxicological significance in the agricultural utilization of sewage sludge, *Chemosphere* 35, 5-11.
 24. Bodzek, D., Janoszka, B., Dobosz, C., Warzecha, L., and Bodzek, M. (1997) Determination of polycyclic aromatic compounds and heavy metals in sludges from biological sewage treatment plants, *Journal of Chromatography A.* 774, 177-192.
-