

방부처리 목재를 포함한 토양매립 바이오메스의 중금속 함량과 안전성 문제*1

임기표*2† · 이종탁*2 · 범정원*2

Heavy Metals of Landfilled Biomass and Their Environmental Standard, Including CCA-treated Wood for Eco-housing Materials*1

Kie-Pyo Lim*2† · Jong-Tak Lee*2 · Jung-Won Bum*2

요 약

생태건축에서 주로 사용되는 목재는 자연환경에서 쉽게 생분해되기 때문에 목재의 내구성 향상을 위하여 각종 방부제나 방화제 또는 도료를 사용한다. 그러나 이들 약품 중에는 살균 및 살충을 위한 각종 독성 중금속이 함유되어 있다. 특히 비바람과 토양에 직접 접촉하는 지반(foundation)과 외장벽(exterior wall)에 사용되는 목재는 인체에 독성이 강한 CCA (chromated copper arsenate)로 처리하는 경우가 많다. 더욱이 건축 폐재는 법률적으로 소각하도록 규정되어 있어 재활용되지 않는 한, 소각 시 발생하는 배출물질 중 대기환경을 오염시키는 다양한 물질을 방출하여 호흡기 질병을 유발하고, 토양 매립시는 용출되어 토양을 오염시킨다.

따라서 건축용 목재로 사용되는 편백나무와 CCA처리된 미국산 Hemlock외에, 목재로부터 제조되어 시판되고 있는 유기질 비료와 하수 슬러지, 건류목탄과 백탄에 함유된 중금속이온을 분석한 결과 다음과 같았다.

1) 미량원소분석을 위하여 시료 용해에 사용된 분석시약과 용수 중에 함유된 불순물이 분석결과에 영향을 미치기 때문에 체계적이고 전문적인 분석시스템 개발과 전문가가 필요하였다. 2) 특히 생화학적으로 전처리된 유기질비료와 슬러지 또는 열화학적으로 전처리된 건류목탄과 백탄은 $[HNO_3 + HF]$ 혼합액으로 3회이상 처리하여도 완전 용해되지는 않았다. 3) 약품 전처리가 없는 목재의 경우, 열처리한 목탄이나 유기질퇴비는 환경오염을 초래하지 않았다. 4) 목재의 내구향상을 위하여 CCA처리 목재는 유기질 비료 기준과 토양 환경 기준치를

* 1 접수 2006년 5월 30일, 채택 2006년 7월 13일

이 논문은 교육 인적 자원부 지방 연구중심 대학 육성사업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음. This work was supported by the Regional Research Centers Program(Bio-housing Research Institute), granted by the Korean Ministry of Education & Human Resources Development.

* 2 전남대학교 농업생명과학대학 산림자원조경학부, Division of Forest Resources and Landscape Architecture, College of Agriculture and Life Sciences, Chonnam National University

† 주저자(corresponding author) : 임기표(e-mail: kplim@chonnam.ac.kr)

크게 초과하여 토양에 매립하면, 심각한 토양오염을 야기할 것이다. 따라서 CCA처리된 토목건축용 목재는 특정 폐기물로 규정하여 별도 처리가 필요하고, 최종 처리될 때는 환경 친화적 소각이나 매립을 위하여서는 오염된 중금속을 분리한 후 목재성분만을 이용하는 바이오메스 폐기기술개발이 필요한 반면, 미래에는 환경 친화적인 저독성 또는 무독성 목재 방부제 개발이 필요하다.

ABSTRACT

Recently, wood-framed houses has been built in the Korea for pension .Wood is good material for human healthy, while the construction lumbers are treated with preservative such as CCA (chromated copper arsenate), which contain some toxic elements for human body. However, if the waste woody biomass treated with various heavy metals, which has been collected from house construction or demolition, was fired in the field, and incinerated or landfilled after mass collection, such components will result in the toxic air pollutants in the burning or landfills, and spreaded into other areas. So the careful selection of wood and chemicals are required in advance for house construction, in particular, for environment- friendly housings. Therefore, this study was carried out to determine the content of toxic heavy metals in woody materials such as domestic hinoki and imported hemlock treated with CCA for housing materials, and the post-treated wood components such as organic fertilizer, sludge, dry-distilled charcoal and carbonized charcoal, to be returned finally into soil.

The results are as follows.

1) The chemical analysis of toxic trace elements in various solid biomass required accurate control and management of laboratory environment, and reagents and water used, because of the error of data due to various foreign substances added in various processing and transporting steps. So a systematic analyzers was necessary to monitor the toxic pollutants of construction materials. 2) In particular, the biomass treated with industrial biological or thermal conditions such as sludge or charcoals was not fully dissolvable after third addition of HNO_3 and HF . 3) The natural woody materials such as organic fertilizer, sludge. and charcoals without any treatment of preservatives or heavy metal components were nontoxic in landfill because of the standard of organic fertilizers, even after thermal or biological treatments. 4) The CCA-treated wood for making the construction wood durable should not be landfilled, because of its higher contents of toxic metals than the criterion of organic fertilizer for agriculture or of natural environment. So the demolished waste should be treated separately from municipal wastes.

Keywords: woody biomass, demolition, dissolution of solid mixture. nitric and hydrofluoric acids, wood preservatives, CCA (chromated copper arsenate); trace elements, toxic metals, foreign substances

1. 서 언

최근 친환경 건축 소재라는 이유에서 목재로 구성된 전원주택이나 펜션 주택들이 확산되고 있으나 우리나라의 목재자원부족으로 대부분이 수입되고, 내구

성 때문에 방부제로 처리된 목재들이 수입되고 있다.

그러나 토목 혹은 건축용 대형 목재는 목재를 생산하는 임업(forestry)에서 원목(log)을 생산하고, 건축업자의 요구에 따라 임산공업에서 제조하여 공급하는 것이 일반적이다. 이때 건축용 대형목재와 목제품들

은 자연계에서 옥외에 사용될 때, 내구성이 짧기 때문에 목제품의 성능향상을 위하여 방부제와 난연제를 처리하고, 특히 토양과 접하거나 비바람에 노출된 목재와 목제품들은 방부제를 처리하여 사용되어야 한다.

그렇지만 건설업자가 새로운 목재주택을 건설할 때 사용한 건축용 목재나 수명을 다한 기존의 주택을 해체(demolition)할 때 발생한 각종 건축 폐 목재들은 재활용되는 것도 있지만 대부분이 폐기되어 최종적으로는 소각(incineration)이나 토양매립(landfill)되어 환경을 오염시키고 있다.

특히 목재 내구성 향상에 가장 효과적이고 경제적인 CCA (chromated copper arsenate)가 일반적으로 사용되었으나 여기에는 환경과 인체에 독성을 가지고 있는 비소(As)와 크롬(Cr)을 함유하고 있어 저독성 방부제들이 개발되고 있으나 CCA만큼 경제적이고, 효과적인 방부제는 아직 개발되지 않고 있다고 한다 (김 등, 2004).

따라서 기존의 목재 주택을 해체하여 폐기하면, 소각시 각종 대기오염물질들이 방출되고, 토양 매립시에는 침출수에 의한 지하수오염이 문제되어, 비소(As)와 크롬(Cr)이 함유되지 않은 방부제개발을 요구하고 있다.

최근 우리나라에서도 선진국과 같이 2005년부터 시행되는 강화된 대기배출 허용기준에 소각시 배출되는 기존의 가스상 물질인 NH₃, CO, HCL, CL₂, SO_x, NO_x, CS₂, CH₂O, H₂S, F화합물, HCN, Br화합물, 벤젠, 페놀화합물, Hg화합물, As화합물, 탄화수소, 외에, 입자상 물질로 먼지, Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, 비산 먼지, 매연(smoke) 등을 추가하여 폐 건축재의 소각 처리를 규제하고 있다. 특히 선진국에서는 저비점 화합물로서 휘발이 용이한 비소(As) 화합물에 대한 규제가 먼저 제기되어 건축재로 이용되는 목재의 CCA 사용을 금지하는 추세이다(APM 엔지니어링(주), 2005).

따라서 본 실험은 흔히 폐기하여 토양에 매립하는 폐 건축 목재와 목재로부터 제조된 유기질 비료와 슬러지, 목탄 등 각종 목질바이오메스중의 중금속함량을 분석하여 목재 건축 폐기물의 분리이용가능성을 검토하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

2.1.1. 바이오메스 재료

본 실험에서 공시재료로 이용한 유기질비료(organic fertilizer : manure)는 비닐하우스에서 원예용 비료로 사용하는 시판용 유기질 비료를 구입하여 사용하고, 슬러지(sludge)는 광주 하수 종말 처리장에서 폐기물로 발생한 하수 슬러지를 구입하여 사용하였으며, 건류목탄(dry-distilled charcoal)은 목재칩을 건류하여 농업용 목초액과 목탄을 제조하여 판매하는 청전환경(주)에서 생산한 것을 사용하고, 백탄(normal charcoal)은 대형 할인점에서 시판되고 있는 참나무 숯을 구입하여 사용하였다.

한편 토목 및 건축용 목재로 이용하는 목재는 무처리재로 중경재 이상의 편백(Hinoki)나무를 전남대학교 연습림에서 벌채하여 사용하고, CCA처리 목재(CCA-treated wood)는 바이오하우징개발연구단에서 시범적으로 설치된 파이롯트 목재구조물 설계 건설에 사용된 미국 산 CCA (chromated copper arsenic)로 처리된 험록(Hemlock) 목재를 사용하였다.

2.1.2. 시약

각종 바이오메스중의 중금속함량을 분석하기 위하여 시료조제에 사용되는 시약은 69~70%HNO₃의 일본 純正化學(株)의 특급 시약급 질산(HNO₃: 비중 1.42), 48.0~51.0% HF인 미국 J. T. Baker제 A.C.S. 시약급 불산(HF)을 사용하였다.

2.1.3. Teflon 반응기

Screw cap이 달린 용량 60 ml의 Savillex제 중압용 Teflon reactor를 구입하여 용해용 반응기로 사용하였다.

2.2. 시험방법

2.2.1. 시료 조제

토목 및 건축용으로 사용되는 대형 목재 시료는 목재를 횡단하는 톱질로 톱밥을 만든 다음, Wiley mill에서 40 mesh에 통과하는 목분으로 제조하여 분석에 사용하고, 시판되는 유기질비료와 하수 슬러지는 Wiley mill에서 40 mesh를 통과하는 분말로 제조하여 사용하였으며, 건류목탄과 백탄은: 세라믹 jar에서 분쇄하여 40 mesh를 통과한 분말을 시료로 사용하였다.

2.2.2. 시편의 용해와 시약중 중금속 함량

(1) ICP-MS 분석

제조된 시료를 고체상태로 한국 기초과학 지원연구원에 의뢰하여 Cr, Cu, As, Cd, Hg, Pb, Sn 함량을 질량분석기(Mass Spectrometer : MS)로 분석하였다.

(2) ICP-AES 분석

0.2 g의 시료를 Teflon 반응기에 넣고, 플라스틱 tip를 이용하는 dispenser를 사용하여 5 ml의 질산과 5 ml의 불산을 추가하고, cap를 단단하게 잠근 다음, 세라믹으로 카바된 Hot Plate상에서 질산가스가 증발·응축하는 온도에서 2시간 이상 가열하고, 이어서 2시간 이상 냉각시킨 다음, cap를 열고, 이를 다시 증발온도까지 가열하여 잔류액이 0.5 ml 정도가 될 때까지 첨가된 질산과 불화수소 및 수분을 증발 제거하고, 10 ml의 1%질산으로 희석시킨 다음, 13,000 rpm에서 원심 분리하여 상등액만 분리하여 한국 기초과학 지원연구원에 의뢰하여 분석하고, 1회 용해에 완전 용해되지 않고, 고체입자가 잔류하는 시료는 다시 5 ml의 질산과 5 ml의 불산을 추가하여 증발·응축-냉각-증발 제거를 30회이상 반복 실시하여 고체입자가 잔류하면, 이를 냉각시켜 10 ml의 1%질산으로 희석시킨 다음, 13,000 rpm에서 원심분리하여 상등액만 분리하여 한국 기초과학지원연구원에 의뢰하여 원자 발광분광기(Atomic Emission Spectrometer: AES)로 분석하였다.

2.2.3. 중금속함량 계산

시료중의 Cr, Cu, As, Cd, Pb, Hg, Sn 함량은 시료중의 중금속뿐만 아니라 시료용해에 사용한 질산과 불산 중의 불순물로 존재하는 중금속도 포함되기 때문에 공시험을 실시하여 다음식과 같이 계산하여 고체 시료중의 중금속 이온 함량으로 환산하였다.

$$\text{중금속함량(ppm)} = (\text{시료액ppm} - \text{공시험ppm}) \times (\text{희석계수})$$

$$\text{(예) 원소별(ppm)} = (\text{시료의 ICPppm} - \text{공시험 ICPppm}) \times [(\text{용해농축시료의 1\% 질산 액 무게 : g}) \div \text{전건시료무게 : g}]$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양매립 바이오메스의 종류와 중금속 함량

토목건축용 목재와 같이 다양한 용도로 사용된 목질 바이오메스는 재활용되더라도 최종적으로 토양에 매립된다. 따라서 토양에 투입될 수 있는 각종 목질 바이오메스를 종류 별로 택하여 그의 중금속 미량원소 함량을 ICP-MS와 ICP-AES로 분석한 결과는 다음과 같았다.

3.1.1. 시료 용해 시약의 중금속 함량 문제

시료 용해에 사용된 질산과 불산 혼합액의 중금속 함량은 Table 1과 같았다. 즉 특수하게 사용되는 분석용 질산(HNO₃)과 불산(HF)에도 불순물 중에 상당량의 크롬(Cr)과 구리(Cu) 및 납(Pb) 등이 포함되어 있어 시료의 ICP-AES 분석 때마다 분석결과에 영향을 미쳤다. 또한 동일회사의 경우라도 시약의 lot가 다르면, 순도가 달라, 백만분지 일의 ppm 단위 분석에서는 용매로 사용한 증류수(distilled water : 3차 증류수) 외에도 사용된 시약의 제조회사와 순도 및 lot의 영향으로 균일성 유지가 필요하였다.

Table 1. Contents of trace heavy metals in mixture of HNO₃ and HF used in blank test

Addition		Heavy metal trace element							Dilution factor	
		Cr	Cu	As	Cd	Hg	Pb	Sn	sample	total
one time	1st	0.312	0.0059	N.D	N.D	N.D	0.104	N.D	1.0	1.0
	2nd	0.302	0.1	N.D	N.D	N.D.	0.116	N.D		
	3rd	0.166	0.046	N.D	N.D	N.D.	0.078	N.D		
	aver.	0.26	0.068	N.D	N.D	N.D	0.099	N.D		
three times	1st	0.488	0.133	0.12	N.D	N.D	0.285	N.D	1.0	1.0
	2nd	1.629	0.234	0.108	N.D	N.D.	0.538	N.D		
	3rd	0.557	0.133	0.108	N.D.	N.D.	0.538	N.D.		
	aver.	0.891	0.167	0.124	N.D	N.D	0.572	N.D		
	per one	0.297	0.056	0.041	N.D	N.D	0.191	N.D		

Table 2. Contents of trace heavy metal in Domestic Hinoki and Hemlock wit CCA (unit : ppm)

Sample		Heavy metal trace element							Dilution factor			
		Cr	Cu	As	Cd	Hg	Pb	Sn	sample	total		
Hemlock treated with CCA	ICP-MS	2216.0	1453.0	2250.0	N.D	N.D	44.1	9.2	55.36	64.91		
	AES-1	(55.43)	23.02	36.22	0.949	N.D.	0.842	(36.22)				
	total	(3580.97)	1489.76	2350.96	61.60	N.D.	48.23	(2351.04)				
	AES-2	(51.7)	20.2	34.8	0.89	N.D	0.28	0.05			53.92	65.30
	total	(3359.07)	314.64	2272.47	58.12	N.D	11.82	3.27				
	AES-3	39.6	21.0	36.1	0.81	N.D	0.27	0.06				
	total	2189.33	1164.9	2009.02	45.08	N.D	15.03	3.04				
	total aver.	(3043.12)	1323.1	2210.82	54.93	N.D	25.13	(785.78)				
Domestic Hinoki	ICP-MS	6.1	51.7	N.D	N.D	N.D	37.0	13.2	56.69	66.92		
	AES-1	0.21	0.35	N.D	N.D	N.D.	0.193	N.D				
	total	-3.35	18.87	N.D	N.D.	N.D.	6.29	N.D.				
	AES-2	0.23	0.28	N.D	N.D	N.D	0.17	N.D			54.12	59.91
	total	-1.80	12.70	N.D	N.D	N.D	4.25	N.D				
	AES-3	0.14	0.31	N.D	N.D	N.D	0.15	N.D				
	total	-7.14	14.39	N.D	N.D	N.D	4.53	N.D			53.77	59.48
total aver.	-4.09	15.32	N.D	N.D	N.D	4.53	N.D					

*Note : Considered number of () as an error and so required monitoring repeated.

3.1.2. 자연산 목재와 방부처리목재의 미량 중금속함량

일반적으로 토목·건축용 목재로 다량 사용되고, 고급수종으로 알려진 34년생의 국산 편백(hinoki)과 목조 주택용으로 미국에서 수입된 CCA처리된 헴록(hemlock)의 독성 중금속 함량을 분석한 결과는 Table 2와 같았다.

독성물질을 함유한 방부제로 처리한 헴록의 중금속 함량이 높은 것은 당연한 결과이나 특별히 한국 기초 과학 지원연구원에 의뢰하여 ICP-MS로 분석한 결과

를 기준으로 실험실에서 용해시킨 다음 ICP-AES로 분석한 결과는 전술한 시약의 중금속 함량이 상당한 오차를 발생하고, 용해과정에서의 처리기술 차이로 희석계수에서 차이가 발생하였다. 따라서 반복회수를 증가시킨 분석이 필수적이었다.

특히 방부처리 하지 않은 편백나무에서 크롬, 구리, 납 그리고 주석이 검출된 것은 환경오염, 특히 대기오염의 증거라고 생각된다.

따라서 생태건축을 위하여 친환경 건축용재생산에서 Agenda 21의 부속협약서중의 하나인 산림원칙(Forest Principles)을 실천한 임산물에 대한 국제적

Table 3. Contents of trace heavy metal in Organic fertilizer and sewage sludge (unit : ppm)

Sample	Heavy metal trace element							Dilution factor	
	Cr	Cu	As	Cd	Hg	Pb	Sn	sample	total
ICP-MS	285	161.0	5.1	0.82	N.D	19.4	3.5		
AES-1	0.901	2.81	N.D	N.D	N.D.	0.48	N.D.	82.59	91.77
total	0.92	242.55	N.D	N.D	N.D	-8.72	N.D		
AES-2	(208)	2.79	N.D	N.D	N.D.	0.48	N.D	77.20	80.36
total	(95.55)	210.79	N.D	N.D	N.D	-7.39	N.D		
AES-3	0.85	2.62	N.D	N.D	N.D	0.46	N.D	71.99	79.91
total	-3.28	196.02	N.D	N.D	N.D	-8.95	N.D		
total aver.	31.06	216.45	N.D	N.D	N.D	-8.35	N.D		
ICP-MS	57.0	529.0	7.8	2.4	N.D	42.9	15.0		
AES-1	79.7	623.0	11.12	2.27	N.D	51.8	19.1	59.70	59.81
total	107.89	790.13	1.79	N.D	N.D	61.17	19.34		
AES-2	3.04	12.4	0.15	0.05	N.D.	1.36	0.3	57.73	61.98
total	133.18	758.14	1.61	3.10	N.D	48.84	17.23		
AES-3	2.38	13.7	0.12	0.04	N.D	1.32	0.25	52.13	60.28
total	89.76	815.80	-0.24	2.41	N.D	45.09	13.74		
total aver.	110.28	788.02	1.05	2.76	N.D	51.70	16.77		

* Note : Considered number of () as an error and so required monitoring repeated.

인 산림관리자위원회(Forest Stewardship Council: FSC)의 친환경 산림 인증마크를 획득하려면, 목재에 대한 대기오염의 영향도 연구하여 사용 후 최종 폐기 시 주변 환경에 오염을 야기하는 환경오염 물질에 대한 모니터링도 필요하다고 생각된다.

3.1.3. 생물처리 목질 바이오메스와 중금속 함량

폐 목재와 건축 폐 목재라도 환경친화적 소재이기 때문에 퇴비원료로 많이 이용하고, 폐기 시 일반폐기물로 분류되어 폐기되는 경우가 많다. 따라서 목질 바이오메스를 생물처리한 유기질 비료와 토양 개량제로 사용될 수 있는 하수 슬러지의 중금속 함량을 검토한 결과는 Table 3과 같았다.

산에서 벌채하여 기계적 가공과 건조만 거쳐 건축 재료로 사용된 목재와는 달리 생물학적으로 전처리된 유기질 비료와 하수 슬러지는 질산과 불산 혼합액을 3회 추가하여 반복 처리하여도 완전하게 용해되지 않았다. 또한 용해된 성분 중에서도 중금속 함량이 방부제로 처리되지 않은 편백보다 높은 것은 산업용 건축재나 종이로 이용된 후, 폐기되는 이용과정에서 오염된 바이오메스가 폐수중에서 BOD가 아니라 COD로 잔류하는 셀룰로오스와 리그닌성분이 각종 중금속의

로 오염된 것으로 생각된다.

3.1.4. 건류탄과 백탄의 미량 중금속 함량

최근에는 자연계에서 생성된 목재 바이오메스를 열분해시켜 생산된 건류목탄과 목초액이 농경지에 사용되고 있다. 따라서 목초액을 생산하는 건류탄과 백탄의 중금속함량을 분석한 결과 Table 4와 같았다.

특히 목탄의 경우, 유기질비료나 슬러지와 같이 [질산 + 불산] 혼합액을 3회 추가하여 반복 용해시켰으나 그의 용해도는 극히 낮았다. 즉 목재가 고온으로 열분해된 목탄은 가수분해 용이한 목재성분이 왕수나 기타 고 강력 혼합시약을 사용하여도 용해되지 않는 석탄구조로 변한 것으로 생각된다.

따라서 이러한 현상은 중크롬산칼리와 황산 혼합시약을 사용하는 Walkley-Black 법을 이용하여 토양 중의 유기탄소 분해속도와 고고학적 연대사이의 상호관계를 추정한 Frink (1992)의 연구 결과와 같이 전처리 조건에 따라 목탄의 용해정도가 다른 것으로 생각된다.

또한 450~600°C에서 탄화된 건류목탄과 탄화 후 900°C 이상에서 고온 처리된 백탄중의 중금속 함량은

Table 4. Contents of trace heavy metal in dry-distilled and carbonized charcoals (unit : ppm)

Sample	Heavy metal trace element							Dilution factor	
	Cr	Cu	As	Cd	Hg	Pb	Sn	sample	total
ICP-MS	19.6	8.8	N.D	N.D	N.D	2.0	N.D		
AES-1	5.93	0.215	N.D	N.D.	N.D.	0.217	N.D.	56.95	78.86
total	397.38	3.79	N.D	N.D.	N.D	-28	N.D		
AES-2	1.22	0.21	N.D	N.D	N.D	0.23	N.D	51.44	65.55
total	21.57	2.82	N.D	N.D	N.D	-22.42	N.D		
AES-3	0.68	0.2	N.D	N.D	N.D	0.19	N.D	52.69	71.62
total	-15.11	2.35	N.D	N.D	N.D	-27.36	N.D		
total aver.	134.61	2.99	N.D	N.D	N.D	-25.92	N.D		
ICP-MS	5.5	7.4	N.D	N.D	N.D	0.7	N.D		
AES-1	0.192	0.171	N.D	N.D	N.D.	0.211	N.D.	56.48	79.5
total	-55.57	0.318	N.D	N.D	N.D.	-28	N.D		
AES-2	0.73	0.48	N.D	N.D	N.D.	0.28	N.D	55.88	72.44
total	-11.66	2.267	N.D	N.D	N.D	-21.15	N.D		
AES-3	0.3	0.2	N.D	N.D	N.D	0.3	N.D	49.73	63.24
total	-37.37	2.09	N.D	N.D	N.D	-17.2	N.D		
total aver.	-34.87	8.36	N.D	N.D	N.D	-22.35	N.D		

* Note : Considered number of () as an error and so required monitoring repeated.

고온으로 처리된 백탄이 고온처리하지 않은 건류목탄보다 중금속 함량이 낮았다. 이는 고온처리 시 휘발성의 중금속의 일부가 증발하여 제거된 것으로 생각된다.

3.2. 샘플링(sampling)과 실험 오차 문제

일반적인 화학분석과 같이 목재 바이오메스를 분쇄한 후 40~60 mesh의 분말을 0.2 g를 취하여 질산과 불산으로 용해시키는 본 실험에서, 분석결과가 때때로 다른 것은 목재와 기타 바이오메스 입자 중에 함유된 미량의 무기원소 분포가 해부학적으로 균일하지 않은 데 기인한 것으로 생각된다. 즉 목재내의 무기물과 무기질의 미량원소는 원래 생리활동을 마친 다음에 목재세포의 루멘 벽이나 균열공간에 부착한 것과 같이 생 분해나 열 분해 후에도 미량인 중금속들의 분포가 불균일하기 때문에 분석시마다 차이가 큰 것으로 생각된다.

예를 들면 토양에 매립되는 각종 폐기물 중의 미량원소 분석법을 개발한 Andersen과 Kisser (2004)에 따르면, 고체중의 미량 존재하는 중금속이온을 분석하기 위하여 다양한 방법이 제시되고 있으나 시료조제 방법에 따라 발생하는 오차가 커서 불확실하다고 한다. 따라서 Walter 등(2005)은 분석하기 전, 전처

리 조건에 따라 분석결과가 다르기 때문에 가압식 반응기를 사용하여 단시간에 시료액을 조제하는 Microwave 용해 시스템을 별도로 개발하였다고 한다.

따라서 목질 바이오메스중의 미량원소 함량을 분석하는 것은 사용된 시약과 용수 및 실험실의 정결성에 따라 분석 결과가 다르기 때문에 환경오염 물질 분석과 같이 전문적인 분석 시스템과 전문기술자가 필요한 것으로 생각된다.

3.3. 토양 매립 바이오메스 형태와 중금속 함량 문제

한편 건축 폐 목재와 건축 폐재들은 재활용 후에도 최종적으로 폐기될 때는 소각된 것이라도 최종적으로는 잔류하는 회분이 토양에 매립된다. 따라서 일반 목재나 CCA처리 목재, 유기질비료, 슬러지, 또는 건류탄과 백탄 중의 중금속함량을 분석하여 농촌진흥청의 유기질비료기준과 환경부 토양 환경기준을 참고로 비교한 결과 Table 5와 같았다.

즉 토목, 건축에 사용되는 목재에 CCA를 처리한 목재를 제외하면, 모두 유기질비료기준이하로서 토양에 매립하거나 퇴비원료로 이용가능하나, 환경적으로

Table 5. Heavy metal contents of some biomass into soil and Criteria of organic fertilizer and environmental standard (unit : ppm)

Element	Organic Fertilizer* ¹	Arable Soil* ²	Wood		Compost (market)	Sludge (sewage)	Charcoal	
			Hemlock treated with CCA	Hinoki			dry-distilled	normal
Cr	< 300 ppm	< 4 ppm	2216.0	6.1	28.5	57.0	19.6	5.5
Cu	< 300 ppm	< 50 ppm	1453.0	51.7	161.0	529.0	8.8	7.4
As	< 50 ppm	< 6 ppm	2250.0	N.D	5.1	7.8	N.D	N.D
Cd	< 5 ppm	< 15 ppm	N.D	N.D	0.82	2.4	N.D	N.D
Hg	< 2 ppm	< 4 ppm	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Pb	< 150 ppm	< 100 ppm	44.1	37.0	19.4	42.9	2.0	0.7
Sn	?	?	9.2	13.2	3.5	15.0	N.D	N.D

*¹ Rural Development Administration, 2002, 비료규격-II 부산물비료):

*² Ministry of Environment, 토양환경 보전법 시행령, 1995, 세계환경신문사 편, 환경 법전, 서울, pp. 661~682

생물에 독성을 가진 Cr과 Cu 및 As로 구성된 CCA방부제 처리 목재는 별도로 구분하여 처리하여야 함을 보여주고 있다.

예를 들면 유기질 비료원료로 사용가능한 목재나 바이오메스라도 농경지에 반복사용하면, 중금속의 경우, 토양 중에 축적되는 성분이 많기 때문에 장기사용 후에는 토양 환경 기준치를 초과할 우려가 있다. 특히 현재 환경친화성 농자재로 많이 이용되는 목탄과 농경지 사용을 고려하고 있는 하수 슬러지도 반복 사용 시 토양 중 중금속 축적이 우려되기 때문에, 선진국에서는 일반 하수 슬러지의 유기질비료 사용을 금지하는 경향이 있다.

또한 Kaplan (1996)에 따르면, 인간의 대사에 필수적인 미량원소는 Cr, Co, Cu, F, I, Mn, Mo, Se, Zn, Fe, Si 등인데 반해, 독성 원소는 Al, As, Cd, Hg, Pb 등 5가지라고 하고, 고등(1993)에 따르면 중금속의 종류에 따라 인체 내에 미치는 영향이 다르지만, 인체독성을 나타내는 주요 중금속은 Cd (cadmium), Cr (chrome), Hg (mercury), Sn (tin), Tl (thallium), Pb (lead), Ni (nickel), As (arsenic) 등 8가지 금속이온을 나열하고 있다.

따라서 토목건축용으로 사용되는 폐 목재는 무처리 목재의 경우, 각종 산업용 원료로 반복사용하여도 환경적으로 문제가 없으나, 방부처리목재는 건물 해체 후 직접 폐기하면, 환경적으로 중금속 오염을 초래하기 때문에, 특정 폐기물로 지정하여 별도 관리하는 것

이 필요하다고 생각된다. 즉 생분해성의 건축용 목재의 내구성 향상을 위하여 처리하는 방부제, 특히 맹독성의 비소(As)와 크롬(Cr)으로 제조된 CCA로 처리된 목재는 폐기시의 환경오염과 인체독성을 야기할 수 있기 때문에 저독성 방부제 개발과 더불어 무독성 방부제 개발이 시급하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Andersen, K. J. and M. I. Kisser, 2004. Digestion of Solid Matrices : Desk Study - Horizontal, 2005, http://www.ecn.nl/docs/society/horizontal/hor_desk_18_destruction.pdf.
2. Frink, D. S. 1992. The Chemical Variability of Carbonized Organic Matter through Time, 2005, <http://www.epri.com/hydro/ecoss/background/charstability.pdf>
3. Kaplan, L. A., A. J. Pesce, and S. C. Kazmierczak. 1996. Clinical Chemistry - Theory, Analysis & Correlation, 3rd Ed, Mosby, N.Y., pp. 746~759.
4. Walter, P. J., S. Chalk, and H. M. Kingston. 1998. Overview of Microwave Assisted Sample Preparation, 2005, <http://www.sampleprep.duq.edu/dir/Chapter2.htm>
5. 고석태, 김학성, 류환목, 성연희, 오기완, 임동구, 장성재, 허근, 홍연탁. 1993. 毒物學, 정문사, pp. 218~226.
6. 김윤수, 김규혁, 김영숙. 2004. 목재 보존과학, 전남대학

방부처리 목재를 포함한 토양매립 바이오메스의 중금속 함량과 안전성 문제

교 출판부.

7. 농촌진흥청고시. 2002. 비료규격-II 부산물비료.

8. 환경부, 토양환경 보전법 시행령 1995. 세계환경신문사
편, 환경 법전, 서울, pp. 661~682

9. APM엔지니어링(주), 2004, 대기배출허용기준, 2005.
http://www.apmkorea.co.kr/law_search/law_atm2_2html