

## 페콘크리트와 유기성폐기물을 원료로 한 대체농토의 생산과 그 이용

정 명 희

베를린 훔볼트 대학교 농학과

### 1. 서론

폐기물순환관리법의 실행에 따라 폐기물을 재활용해야하고, 2005년부터 유기성 폐기물의 매립 금지에 따라서 이들의 다른 처리 방법을 강구해야 한다. 한편, 토지의 재자연화를 위하여 많은 양의 농토가 필요한데, 이를 위한 농토의 양이 부족할 뿐더러, 가격도 무척 높다. 이 두 가지 문제를 동시에 해결하기 위하여 최근 그 발생량이 급격히 증가하고 있는 페콘크리트에 적당한 유기성 폐기물을 혼합하여 농토로 사용하려는 생각을 하게 되었고, 따라서 이 가능성의 여부를 알아 보기 위한 연구가 필요하게 되었다.

토양이 농토로 사용되기에는 여러 가지 조건이 있다. 그러나, 페콘크리트가 단일로서는 이러한 조건에 부합하기 어렵고, 여기에 유기성 폐기물이 첨가되었을 때, 이들이 서로 반응하여 무기-유기 복합체를 형성하면서 새로운 성질을 나타내게 된다. 건설폐기물과 혼합되었을 때 농토로 사용하기에 적합한 유기성 폐기물을 선정하여 혼합하고, 일정 기간 후에, 이들의 변화된 성질이 농토로 적합한가의 여부를 알아보는 것이 이 연구의 목적이다.

여러 가지 폐기물 중에서, 발생량은 많지만 이에 비해서 재활용비율이 낮고, 그러므로 처리해야 할 양이 많은 것과, 아직까지 전혀 재활용이 되지 않고 있는 폐기물을 선정 조건으로 하였다. 이 조건에 준하여서 연간 60 Mio. m<sup>3</sup> 발생되지만 약 6분의 1 만이 재활용되고 있는 도시하수슬릿지와 (1) 아직 재활용이 전혀 되지 않는 제지공장슬릿지가 선정되었다. 그리고, 토양구조를 견고히 하기 위해서 목재소의 부산물인 톱밥과 대폐밥이 사용되었다.

### II. 실험방법

#### 1. 혼합물의 조제

페콘크리트를 주원료로 하여서 10 종류의 혼합물을 만들어 각각 5개의 화분(4.5 리터)에 채우고, 지붕과 벽이 쇠격자로 된 실험장에서 식물(겨자와 Rotschwengel : 풀의 한 종류)을 재배하였다. 강수가 스며들었고, 혼합물의 수분상태에 따라 수도물을 첨가하였다. 토양번호 0은 비교를 위해서 사용된 일반농토이다. 혼합물의 구성물질과 성분비는 다음의 표 1과 같다.

표 1: 혼합물의 구성물질과 성분비 (%)

	페콘크리트	도시하수슬릿지	제지슬릿지	목재소부산물
토양 1	70	30		
토양 2	70		30	
토양 3	70			30
토양 4	70	20		10
토양 5	70	20	10	
토양 6	85	15		
토양 7	85		15	
토양 8	85			15
토양 9	85	10		5
토양 10	85	10	5	
토양 0	일반농토			

[연락처] 국내연락처 (우) 139-743 서울특별시 노원구 공릉동 172 서울산업대학교 환경공학과 배재근.

Tel: 02-970-6617, Fax: 02-971-5776. E-mail: phae@plaza1.snut.ac.kr

2. 검사항목

생산된 대체농토의 용도에 관한 평가는 독일폐기물학회 (LAGA, Laenderarbeitsgemeinschaft Abfall) 에서 정한 규정을 따른다(6). 이 규정에서는 토양과 침출수에 함유된 유해물질의 검사 항목과 기준치가 정해져 있으며 다음의 표 2는 그 종류를 보여 준다. 이 규정에 의하면, 검사결과 Z 0에 해당하면 자연의 토양과 같아서 용도의 제한이 없다. 검사결과 Z 1에 해당하면 폐쇄된 탄광지의 재자연화와 공원의 녹지대용으로 사용할 수 있다. Z 2는 매립지의 재자연화의 용도로 사용할 수 있다.

3. 실험방법

각 폐기물의 함유물질의 농도를 개별적으로 조사하였고, 혼합물의 토양 실험을 위하여, 혼합초기와 약 9개월후에, 각각 1 kg 씩의 토양시료가 채취되었다. 침출수 실험을 위하여는 혼합하고 난 다음 약 2개월후와 11개월 후에 각각 1 liter의 침출수가 채취되었다. 이 시료들로부터 LAGA의 규정에 따라 유해물질의 함유량이 조사되었다.

표 2. LAGA 에서 정한 유해물질의 종류와 제한기준치

항목	토양실험					침출수실험				
	단위	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2	단위	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
PH		5.5-8	5.5-8	5-9			6.5-9	6.5-9	6-12	5.5-12
전기전도도						mS/cm	0.5	0.5	1	1.5
As	Mg/kg	20	30	50	150	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.06
Cd	Mg/kg	0.6	1	3	10	mg/l	0.002	0.002	0.005	0.01
Cr	Mg/kg	50	100	200	600	mg/l	0.015	0.03	0.075	0.15
Cu	Mg/kg	40	100	200	600	mg/l	0.05	0.05	0.15	0.3
Co	Mg/kg	0.3	1	3	10	mg/l	0.0002	0.0002	0.001	0.002
Ni	Mg/kg	40	100	200	600	mg/l	0.04	0.05	0.15	0.2
Ph	Mg/kg	100	200	300	1000	mg/l	0.02	0.04	0.1	0.2
Pb	Mg/kg	0.5	1	3	10	mg/l	<0.001	0.001	0.003	0.005
Zn	Mg/kg	120	300	500	1500	mg/l	<0.1	0.1	0.3	0.6
시아나이드	Mg/kg	1	10	30	100	mg/l	<0.01	0.01	0.05	0.1
EOX	Mg/kg	1	3	10	15					
IR-KW	Mg/kg	100	300	500	1000					
LH-KW	Mg/kg		1	3	5					
BTEX	Mg/kg		1	3	5					
PAH	Mg/kg	1	5	15	20					
PCB	Mg/kg	0.02	0.1	0.5	1					
Phenol						mg/l	<0.01	0.01	0.05	0.1
염화물						mg/l	10	10	20	30
황산염						mg/l	50	50	100	150

EOX (extrahierbare organische Halogenverbindungen : extractable organic halogens)

IR-KW (Infrarotkohleneasserstoff : Infrared Hydrocarbon) : 총탄화수소

LH-KW (leichtfluechtige Halogenkohlenwasserstoffe : lightly volatile halogenated hydrocarbons)

BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol)

IV . 실험 결과 및 고찰

1. 폐기물

1) 토양실험

페콘크리트의 pH 는 10.6 으로 강알칼리성을 띠었고, 마그네슘과 칼슘을 많이 함유하고 있다. 하수슬러지에 있어서는 구리와 아연의 함량이 약간 높은 편이고, 수소가 11,000 mg/kg 으로 매우 많이 함유되어 있다. 반면에 인, 칼슘과 같은 자양분도 농도도 높다. 제지슬러지의 경우 pH 가 4.6 으로 강산성을 띠었고, EOX 와 수소의 함량이 높게 측정되었으며, 칼슘의 함량도 많다. 목재소의 부산물에서는 별다른 특징이 나타나지 않았다. 다음의 표 3은 LAGA의 규정에 준한 폐기물의 토양으로서의 실험결과를 보여 준다.

표 3. LAGA 의 규정에 의한 폐기물의 토양 실험 결과

검사 항목	단 위	페콘크리트	하수슬릿지	제지슬릿지	목재소부산물
PH		10.6	8.2	4.6	6.8
중금속					
As	mg/kg	4	1.7	0.74	0.11
Cd	mg/kg	0.133	0.932	0.333	<0.085
Cr	mg/kg	13.9	11.6	47	<0.85
Cu	mg/kg	10.4	257	5.2	
Hg	mg/kg	0.05	1.08	0.11	0.1
Ni	mg/kg	8.26	19.1	6.29	<0.85
Pb	mg/kg	18.2	33.3	6.23	<1.4
Tl	mg/kg	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zn	mg/kg	62.3	609	31	13.6
유기 유해물질					
시안화물	mg/kg	<0.10	<0.10	0.54	<0.10
EOX	mg/kg	<1.0	1.3	10.9	<1.0
BTEX	mg/kg	<0.06	<0.06	<0.06	0.13
LHKW	mg/kg	<0.02	<0.02	<0.02	0.04
PAH	mg/kg	4.3	<0.5	<0.5	<0.5
PCB	mg/kg	0.01	0.02	0.01	<0.01
Hydrocarbon	mg/kg	120	11.000	430	52
자양분					
P	mg/kg	424.5	4.972	3.354	309.4
K	mg/kg	1921	180	117	346
Mg	mg/kg	4150	796	446	182
Ca	mg/kg	56,400	81,400	1,230	949

시료채취 : 10. Mai 1999

분석 : 18. Okt. 1999

2) 침출수 실험

페콘크리트에 있어서는 염화물, 황산염의 함량이 많고, 따라서 전기전도도가 높다. 크롬, 구리, 니켈, 시안화물의 함량도 약간 높은 편이고, 자양분으로 질산성질소와 산화칼륨을 많이 함유하고 있다. 도시하수슬릿지의 경우에는 전기전도도가 부족 높고, 황산염, 니켈과 아연, 시안화물, 페놀의 함량도 약간 높다. 자양분으로는 암모니아성질소 오산화인, 산화칼륨을 많이 함유하고 있다. 제지슬릿지에 있어서는 전기전도도가 약간 높고, 하수슬릿지와 마찬가지로 니켈, 아연, 페놀의 농도와 산화칼륨의 함량이 약간 높은 편이다. 목재소부산물의 경우, 전기전도도는 낮은 편이고, 아연과 페놀의 함량이 조금 높다. 자양분인 산화칼륨의 농도가 약간 높다. 다음의 표 4 에는 폐기물연구소에 준한 폐기물 침출수의 검사결과가 나타나 있다.

표 4. LAGA 에 따른 폐기물의 침출수 검사결과

검사 항목	단 위	페콘크리트	하수슬릿지	제지슬릿지	목재소부산물
일반적성질					
PH		7.5	8.1	6.3	6.5
전기전도도	µS/cm	4,310	11,330	1,790	635
염화물	mg/l	482	7	12	60
황화물	mg/l	814	366	158	129
중금속					
As	mg/l	0.0054	0.0027	<0.0025	<0.0025
Cd	mg/l	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
Cr	mg/l	0.143	<0.025	<0.025	<0.025
Cu	mg/l	0.276	0.089	0.041	0.009
Hg	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Ni	mg/l	0.324	0.427	0.337	0.065

Pb	mg/l	<0.040	<0.040	<0.040	0.042
Tl	mg/l	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Zn	mg/l	<0.054	0.109	0.175	0.551
유기성 유해물질					
시안화물	mg/l	0.67	0.12	0.01	<0.010
페놀	mg/l	0.03	22	0.18	0.15
자양분					
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	78.9	0.09	0.08	0.02
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	4.92	234.2	26.2	0.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/l	1.67	35.5	3.07	7.47
K <sub>2</sub> O	mg/l	211	108	74.9	60.4

시료채취 : 10. Mai 1999

분석 : 18. Okt. 1999

## 2. 혼합물

### 1) 토양 실험

혼합초기의 pH 값의 범위는 8 에서 10 까지 강산성을 띠었으나, 9 개월 후의 pH 값은 7.4 에서 7.9 사이로 내려가서 Z 0 에 해당한다. 중금속의 함량은 초기와 비교해서, 별 다른 차이가 없고, 유기성 유해물질의 경우에는 조금씩 줄어드는 경향을 보여 준다. 토양 8 에서 Arsen 의 함유량이 갑자기 높아진 것은, 시료중에 건설폐기물의 특정 부분의 작은 조각이 섞여 들어간 것으로 사료된다. 토양 8 을 제외하고는 다른 토양들은 9 개월 후, Z 1.1 에 해당되었다.

### 2) 침출수 실험

pH 값은 1 차 분석이나 2 차 분석에서 모든 토양이 Z 0 에 해당한다. 2 차 분석에서 많은 시료의 pH 의 값이 조금씩 올라가는 데, 이것은 그 동안에 염기성 양이온이 빠져나갔음을 보여 준다. 전기전도도에 있어서는 모든 토양이 Z 1.2 에서 Z 2 의 범주에 드는 데, 1 차때의 높은 농도에 비교해서 많이 감소되었고, 앞으로도 계속 감소될 전망이다. 유해물질의 2 차 분석 결과는 모든 토양의 경우, Z 1.1 과 Z 1.2 에 해당한다.

## 3. 식물실험

식물 실험에서는 생체 중량과 건조 중량이 측정되었다. 표 5 에서 보다시피 겨자와 마찬가지로 Rotschwengel 도 하수 슬러지가 혼합되지 않은 토양 2, 3 과 7, 8 에서는 거의 자라지 않았다.

표 5. 겨자와 Rotschwengel 의 수확량 ( 단위 g)

		토양 1	토양 2	토양 3	토양 4	토양 5	토양 6	토양 7	토양 8	토양 9	토양 10
겨자	생체량	62.91	2.57	6.33	47.94	49.16	74.77	3.09	8.05	78.08	55.18
	건조량	11.46	0.58	1.17	7.77	7.86	11.89	0.7	1.01	12.37	7.4
R	생체량	73.94	0.21	0.37	37.57	87.07	46.83	0.86	0.6	27.66	54.21
	건조량	12.36	0.04	0.04	7.57	17.27	9.71	0.17	0.05	6.25	10.65

R : Rotschwengel

토양실험과 침출수 실험의 결과 이 혼합물들은 전기전도도를 제외하고 LAGA 의 규정 Z 1 와 Z 2 에 해당한다. 그러나, 전기전도도의 값은 실험의 결과 시간이 지나면서 그 값이 현저히 떨어짐을 알 수가 있었다. 따라서, 이 값은 앞으로도 계속 낮아질 전망으로 보인다. LAGA 에 설명에 의하면, 대체농토의 평가는 실험 결과를 토대로 하여 여러 가지로 할 수가 있다. 해당지역의 수문학적 관계와 대체농토의 투입지역에서의 사용에 따라서 달리 평가할 수가 있다. 또, 각각의 검사항목이 공공복지에 해를 끼치지 않는다는 증명에 있을 때, 예외가 될 수 있다.

토양실험의 결과는 토양 3, 7, 8, 10 이 2 차 분석에서 각각 1 개씩의 항목을 제외하고는 LAGA 의 규정 Z 0 에 해당한다. 침출수 결과에서는 토양 3, 4, 6 과 7 이 전기전도도를 제외하고 규정 Z 0, 토양 8, 9, 10 이 전기전도도와 페놀을 제외하고 Z 0 에 해당한다. 그러나, 식물 실험에 있어서, 토양 3, 7, 8 의 결과가 가장 하위권에 속하기 때문에 토양, 침출수, 식물 실험의 3 가지 경우를 보고 종합적으로 평가했을 때, 85 % 페린크리트, 10% 하수슬러지, 5 % 목재소부산물로 혼합된 토양

10 이 가장 좋은 결과를 가져왔다.

## V. 결론

실험의 결과에서, 각각의 폐기물로는 농토로 부적당했으나, 혼합됨으로서 식물의 성장토로 적합하게 변화하였음을 알 수가 있다. 대체 농토를 생산할 때, 자연의 토양을 여기에 무기물의 일부로서 혼합한다면, 더 양질의 농토를 얻을 수 있고, 사람이나 동물이 섭취할 수 있는 식물도 재배할 수가 있다. 이렇게 인공적으로 폐기물을 원료로 하여 생산된 대체농토는 도시계획이나 매립지 등의 토지재활용에 저렴한 값으로 공급되고, 한편으로는 폐기물의 발생 저감에 이바지 한다.

## 참고 문헌

1. Bernd Delmhorst, Entsorgung 2000 Klärschlamm : Leitfaden fuer Kommunen, Wirtschaft und Politik, Verlag Bonner Energie-Report, Bonn, 1992
2. Frank Riesbeck, Untersuchungen zu geeigneten Mischungsverhältnissen zur Herstellung kulturfähiger Substrate aus mineralischen und organischen Massenreststoffen, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 2000
3. Sabine Faass, Einsatz von künstlichen Bodensubstraten aus mineralischen und organischen Reststoffen zur Sanierung/Sicherung einer Altlast - beispielhaft erläutert am Rüstungsaltsandort Hallschlag (Rheinland/Phalz), Diplomarbeit der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, 1997
4. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., Landwirtschaft-Partner bei der Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Industriegesellschaft, Berlin, 1994
5. Landesumweltamt Brandenburg, Datenblätter zur stofflichen Verwertung von Bioabfällen, Potsdam, 1998
6. LAGA Laenderarbeitsgesellschaft Abfall., Anforderung an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen (Technische Regeln), 1995.