

# 제강전로슬래그의 농자원화 방안에 관한 연구

A study on Utilization for Agriculture Using converter slag

박 정 희\* (건국대) · 윤 춘 경 (건국대) · 함 중 화 (건국대)

Park, Jung Hee · Yoon, Chun Gyeong · Ham, Jong Hwa

## Abstract

To study the possibility of agricultural utilization of the sewage sludge and the converter slag, the chemical properties of soil, the growth response of corn plant and uptake of inorganic nutrients in plant tissues were investigated by application of the composts made of the sewage sludge and converter slag. Uptake of inorganic nutrients in stem and leaf of corn plant were decreased by applications of the composts. The content of heavy metals in soil and corn plant were investigated, but the results of show that the concentrations of heavy metals are much low.

## 1. 서론

환경부에 따르면 우리나라 1996년도 사업장(일반)폐기물 조성은 125,429(톤/일)이다. 1995년도 폐기물처리에는 대부분 매립(44.5%), 재활용(48.9%)에 의존했으며, 소각은 8,303톤/일로서 전체 처리량의 5.6%로 저조한 편이었으나, 1996년에는 매립(38.9%), 소각(5.5%), 재활용(54.7%)로서 전년에 비해서 재활용율이 크게 증가하는 추세를 나타내고 있다. 그러나 산업폐기물의 처리 및 매립에 있어서 적정처리의 시비로 어려움을 겪고 있는 실정이다. 또한, 현재 국내 1일 생활하수 발생량은 약 1,463만톤으로 추정되고 있으며 이들 하수처리를 위한 하수처리장의 설치도 매년 증가하고 있다. 여기에서 나오는 하수처리 부산물인 슬러지의 발생량도 연간 약 360만톤으로 추정하고 있으며, 이 양도 매년 증가할 것으로 추정하고 있다. 하수 슬러지와 같은 유기성 폐기물의 현행 처리방법은 주로 매립, 소각 및 해양투기 등의 방법으로 처리되고 있으나, 여러 가지 면에서 많은 문제점을 안고 있다. 마찬가지로 현재 보유하고 있는 우리의 폐기물처리 기술만으로는 날로 심화되고 있는 국내 산업폐기물 문제를 해결할 수 없을 뿐만 아니라 지구환경문제에 대처할 수 없을 것이다.

본 연구실에서는 하수슬러지의 대량처분을 위한 처리방법 중의 하나로 하수 슬러지와 제강전로슬래그의 농지 이용 가능성을 규명하고자 하였다. 이들을 일반 토양과 배합하여 토양개량제로서의 역할을 알아보았다.

---

1998년도 한국 농공학회 학술 발표회 논문집(1998년 10월24일)

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

공시 작물은 옥수수(품종 : 수원19호)를 사용하였으며 pot에 파종후 발아가 잘된 종자만을 선 발하여 재배하였다. 홍익 대학교 자료에 따르면, 하수슬러지는 비교적 깨끗하다고 볼 수 있는 파천 하수처리장에서 발생한 하수슬러지케익을 사용하였고 제철슬래그는 P제철소에서 발생한 제강전로슬래그를 사용하였으며 생석회는 시판되고 있는 공업용을 사용하였다. 또한 제강전로 슬래그는 Table 2와 같은 성분조성을 가진 것으로 비표면적 3500~3800cm<sup>2</sup>/g의 분말로 파쇄하여 사용하였으며, 생석회는 순도 약 80%의 공업용으로 분말상태의 것을 사용하였다.

Table 1. Chemical composition of converter slag

Chemical Component	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	etc.
wt %	38.5	12.2	27.9	1.65	8.89	0.21	10.65

Table 2. Total heavy metal contents of converter slag

(unit : mg/kg, dry base)

Sample	Heavy metal	Cd	Cu	Cr	Pb
Converter slag		10.5	26.0	892.0	92.5

### 제강전로슬래그

일본의 경우 제강전로슬래그의 토양개량제로서의 활용사례를 살펴보면, 제강슬래그는 고로슬래그와 달리, 아래에 보인 바와 같이 가용성 규산분이 20%에 모자라기 때문에, "광재규산비료"의 규격에는 합치하지 않는다. 그러나, 논벼농사의 출수감소 현상을 방지하는데는 철함유물의 사용에 의한 토양개량의 유효한 점이 이론적, 실증적으로 뒷받침 되어 있다.

Table 3. Converter slag analyze for Japan

	가용성 규산	철분	유효석회	구용성 마그네시아	구용성 인산	구용성 망간
Converter slag analyze(Japan)	13	25	45	2.5	1	4
POSCO No.1 LD slag analyze	15.20	29.34	43.21	3.80	0.942	2.58

제강슬래그의 철분은 '출수감소'라해서 토양중의 철분이 부족하여, 황화수소가 발생하기 쉽게 되어 뿌리를 썩게 한다. 이러한 현상을 방지하는 철분외에도 작물의 표피세포를 튼튼하게 하여 결실을 좋게하는 규산분, 토양의 중화작용을 가지는 석회, 작물의 생육촉진에 관여하여 크게 도움을 주는 Mg, Mn, 인산등이, 상당히 포함되어 있다. 앞으로 폐슬래그의 최종 활용전망은 비료원료, 토양개량제, 사료 등에 활용가능할 것으로 보인다. 하수슬러지나 슬래그를 단독매립하거나 중간복토재로의 활용하기 위해서는 먼저 이로 인한 중금속 용출 등 2차오염에 대해서도 안전성이 확보되어야 할 것이다.

현재 하수처리장의 최종산물로 발생하는 하수슬러지케익의 처분은 대부분을 매립에 의존하고 있는데, 높은 유기물 함량과 함수율로 인하여 매립작업의 수행에 어려움을 겪고 있으며 생활수준의 향상 등에 따른 생활쓰레기의 정상변화로 혼합매립도 곤란해지는 등의 많은 문제점을 야기시키고 있다. 또한 향후 지속적인 하수처리장 건설사업이 추진될 경우 하수슬러지의 발생량은 급격히 늘어날 것으로 예상되어져 이에 대한 적절한 처분대책이 시급한 실정이다. 그러나 슬러지는 우리나라에서 농자원화에 관한 연구가 지속되어져 왔으나 슬래그는 농자원화에 응용하는데 아직 이르지 못하고 있다.

### 시험방법

슬러지와 슬래그, 석회의 비율을 65 : 30 : 5 로 섞었다. 이것을 다시 밭토양과 섞어 각각 30%, 10%, 0% 비율로 처리하였다. 대조구인 0%는 아무것도 배합하지 않은 밭토양으로 처리하였다. 각 처리는 Pot에 3반복으로서 배치하였으며, 각 Pot에 옥수수를 7분씩 파종하여 부실한 2분을 제거 하였다. 시험 기간동안 비료나 농약은 공급하지 않았다. 토양 시료 채취는 파종 직후 및 수확기에 행하였고 성장분석은 파종 35일후, 42일후 행하였으며, 식물의 무기물과 중금속 분석을 위한 식물체 시료 채취는 성장분석을 끝낸 다음, 수확기에 각 Pot에서 1분씩 채취하였다.

### 분석 방법

토양은 토양화학분석법에 준하여 다음과 같이 분석하였다. 토양 분석은 pH는 초자전극법, 질소 함량은 kjeldahl법, 유효P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 함량은 Lancaster법으로 분석하였고, 토양중 중금속 분석은 시료 0.2g을 혼합산으로 산분해한후, 그 여액을 ICP(JY 138 UL TRACE)로 분석하였다. 식물체의 전질소 함량은 kjeldahl법, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 Vanadate 법으로 분석하였다. 식물체중 중금속은 각 시료 0.2g을 취하여 HCL과 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 1:1로 혼합한 혼합산을 이용하여 hot plate상에 산 분해후, 여과하여 여액을 ICP(JY 138 UL TRACE)로 분석하였다.

### 결과 및 고찰

#### 토양의 이화학적 특성 및 중금속 변화

Table 4. Chemical properties in soil by application of composts.

Treatment	before sowing seed			At harvesting time		
	pH (1 : 5)	T-N (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	pH (1 : 5)	T-N (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)
Slag&Sludge Composts (30%)	8.40	185.5	30.04	8.30	161	30.46
Slag&Sludge Composts (10%)	8.16	77	74.63	7.87	98	65.29
Slag&Sludge Composts(0%)	6.37	63	88.98	6.40	56	52.94

하수 슬러지, 전로 슬래그를 발토양과 함께 Pot에 처리하여 옥수수를 재배 함으로써 pH, T-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>같은 무기 영양물질과 Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, As와 같은 중금속등에 대하여 조사하였다. 무기 영양물질의 파종직후 분석한 결과와 수확후 분석한 결과는 Table 4 에서 보는 바와 같다. 옥수수는 산성 및 알칼리성에 대한 적응성이 비교적 높지만 토양반응은 pH 5.5~8.0이 알맞다. 토양분석 결과, 파종전의 Slag&Sludge Composts의 질소와 유효인산 함유율이 수확기에는 줄어든 것을 볼수 있다. 질소와 유효인산 함량이 감소한 것은 토양중 무기 영양물질이 작물체내로 흡수된 것으로 생각된다. 하수 슬러지, 전로 슬래그를 발토양과 함께 Pot에 처리하여 옥수수를 재배 함으로써 토양중 중금속<sup>1</sup> 함량 변화를 조사한 결과는 Table 5. 에서 보는 바와 같다. 결과에 따르면 파종전의 Slag&Sludge Composts의 중금속 함유율이 수확기에 거의 줄어들지 않은 것을 볼 수 있다. 이로써 토양중 Slag&Sludge Composts를 첨가했을때 중금속이 작물에 재흡수 가능성이 희박하다고 본다. 오히려 수확기에 시험구, 대조구의 중금속 함유율이 늘어난 것을 볼 수 있는데, 이는 산성비나 기타 자연적인 환경으로 인한 원인이라고도 추측할 수가 있다.

Table 5. Heavy metals contents in soil by application of composts.

Treatment	Cu	before sowing seed		Pb	Cr	As
		Zn	Cd			
Slag&Sludge Composts (30%)	45.743	121.030	15.147	20.247	420.531	18.597
Slag&Sludge Composts (10%)	55.349	90.652	9.125	6.283	210.025	74.795
Slag&Sludge Composts (0%)	20.000	114.000	13.000	21.000	103.000	86.000

Treatment	Cu	At harvesting time		Pb	Cr	As
		Zn	Cd			
Slag&Sludge Composts (30%)	54.948	140.738	16.020	22.608	398.708	54.648
Slag&Sludge Composts (10%)	55.349	90.652	9.125	6.283	210.025	74.795
Slag&Sludge Composts (0%)	41.350	80.004	8.540	6.892	168.398	57.681

#### 옥수수의 생육현황

Slag&Sludge Composts를 pot에 각각 처리하여 옥수수를 재배함으로써 생육기간중 각 시험구별로 작물의 생육현황을 조사하기 위하여 파종후 10일후부터 7일 간격으로 초장을 조사하였고 파종후 35일 부터는 각 pot별로 일주일 간격으로 건물중과 엽면적을 조사하였다. Beadle(1987)에 의하면 엽의 크기는 작물의 이산화탄소 동화능력과 정의 상관관계를 갖는 것으로 태양에너지를 식물체내로 끌어 들여 화학에너지로 바꾸어 주는 엽록소와 단백질 함량의 크기를 간접적으로 보여 주는 것이라고 한다. 건물 생산량은 작물의 동화량과 호흡량의 두가지 요인에 의하여 결정된다. 또한 이들은 엽면적, 단위 엽면적당 동화능력, 그리고 수광능율의 3가지 요소와 밀접한 연관성을 갖는다.

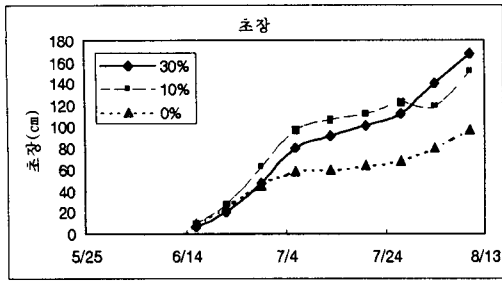


Fig1. compare of height

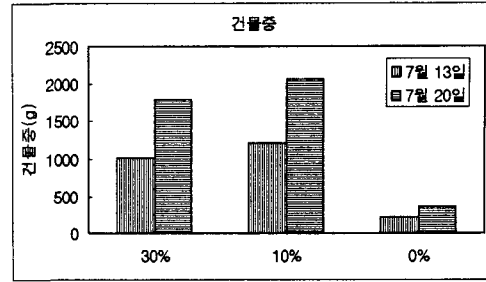


Fig2. compare of total dry weight

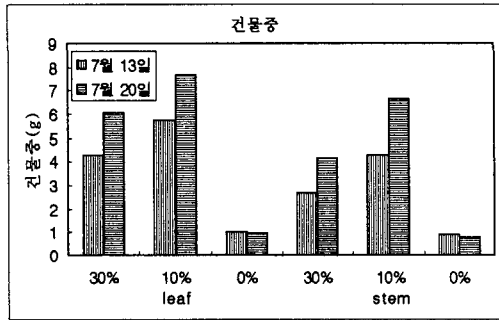


Fig3. compare of leaf and stem dry weight

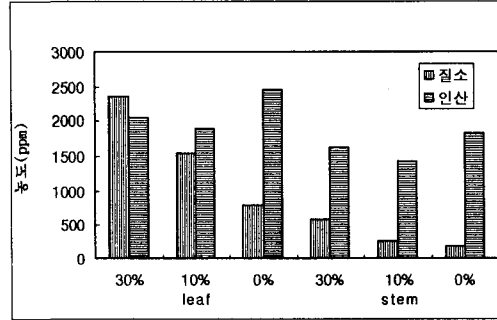


Fig4. compare of leaf and stem in T-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

식물의 pH를 실험해 본 결과 pH 6.17~7.97로 적절한 수준이었다. 질소와 유효인산에서 슬래그와 하수슬러지를 함유한 시험구를 발토양인 대조구와 비교해 볼 때 생육이 잘된 pot에서 질소의 함유율이 높았다. 대조구인 발토양에서 유효인산이 높은 수치를 보였으나 질소의 함량이 부족하여 영양상태의 불균형을 이루었다. Table 6.에서 보면 식물에서도 중금속의 양은 매우 미미한 정도였다고 보여진다.

Table 6. Heavy metals contents in plant tissues

Treatment		Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	As
Slug&Sludge Composts (30%)	S	3.259	7.999	0.148	2.963	7.999	1.629
	L	25.687	30.263	0.590	12.991	36.000	2.510
	G	3.164	19.136	0.151	ND	7.835	1.356
Slug&Sludge Composts (10%)	S	3.917	2.411	0.151	0.603	4.068	2.260
	L	14.600	26.220	0.298	8.939	21.899	1.788
	G	9.055	43.199	0.148	3.711	5.493	0.891
Slug&Sludge Composts (0%)	S	3.133	5.520	0.298	0.746	3.730	ND
	L	12.879	13.027	0.444	3.553	33.751	1.628
	G	-	-	-	-	-	-

Table 6.에서 S는 줄기(Stem), L은 잎(Leaf), G는 옥수수 낱알(Grain)이다. 이상의 결과로 전로 슬래그와 하수 슬러지를 적절히 배합해 토양개량제로 만든 시험구에서 옥수수의 생육상황 및 생체중은 전생육 기간 동안 증가되었고 질소와 인산의 흡수량도 많았다.

처음 생육상황은 10%배합의 시험구가 잘 자랐으나 파종후 42일 이후부터는 생육상황이 30% 배합에서 잘 자랐다. 그리고 슬러지에 함유되어 있는 질소 함유량이 많을수록 더 잘 자랐다. 제강 슬래그에는 철분과 작물의 표피세포를 튼튼하게 하여 결실을 좋게하는 규산분, 토양의 중화작용을 가지는 석회, 작물의 생육촉진에 관여하여 크게 도움을 주는 Mg, Mn, 인산등이 많이 포함되어 있으므로 많을 영향을 끼쳤으리라고 본다.

참고로 Slaughter & Sludge Composts의 30%, 10%, 0%의 엽면적 지수(LAI, leaf area index)는 각각 2.54, 2.93, 0.50 이었고, 옥수수 이삭당 무게는 가장 잘자랐다고 볼 수 있는 30%가 0.14g 였다.

#### 요약 및 결론

본 연구에서는 하수 슬러지와 전로 슬래그를 환경친화적인 농자원화 방안을 위해 토양개량제로서의 적용성을 검토하고자 하였다. 배합한 토양의 이·화학적 특성과 작물 성장 실험을 한 결과 하수 슬러지와 슬래그의 성분과 배합비가 작물 성장에 중요한 역할을 하는 것으로 판명되었다. 앞으로 토양 개량제로서 배합율, 사용지역, 입도, 토양조건, 대상작물등 관련 연구가 뒤따라야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. 홍익대 김응호 외 2인, 제강전로슬래그를 이용한 고화처리 하수슬러지의 중금속 용출 특성, 수질보전학회 논문 (1998)
2. 홍익대 김응호, 고화처리 하수슬러지의 농자원화 방안에 대한 제의, 한국농촌환경연구회 (1998.3)
3. 경상대 이홍재 외 3인, 폐하수슬러지 퇴비 사용이 토양의 화학성 및 옥수수의 생육에 미치는 영향, 한국환경농학회지 Vol. 16, No. 3. (1997)
4. 전북대 손재권 외 2인, 준설토를 이용한 작물재배 시험연구, 한국 농공학회지 Vol. 16, No. 3. (1997)
5. 弘文館, 1996, 환경관계법규 III, 토양환경보전법 토양오염대책기준