

## 석탄회 시용이 연초 생육과 토양중 중금속 함량에 미치는 영향

홍순달\* · 석영선 · 송범현  
충북대학교 농과대학  
(1997년 7월 11일 접수)

### Effects of Application of Fly Ash on Tobacco Growth and on Accumulation of Heavy Metal in Soil

Soon-Dal Hong\*, Yong-Seon Seok and Beom-Heon Song  
College of Agriculture, Chungbuk National University  
(Received November 10, 1997)

**ABSTRACT** : Pot experiment was conducted to investigate the effects of fly ash on growth responses and on accumulation of the heavy metals in soil. Two kinds of fly ash, anthracite and bituminous coal, were treated with different levels of 0, 0.4, 0.8, and 1.2 kg/pot(20L). Tobacco growth was better by application of fly ash than that by the control. However, the early stage of growth by application of bituminous coal, 1.2 kg/pot, was decreased due to the boron toxicity occurred by fly ash. Generally, tobacco yield was significantly increased with applying fly ash, showing the highest yield at 1.2 kg/pot for anthracite and at 0.8 kg/pot for bituminous coal. The content of total nitrogen in leaves was higher with fly ash than that of the control, while the content of calcium in leaves was low. Contents of heavy metal and the other minerals were not significantly different between the control and the treatment of fly ash. Soil pH after experiment was linearly increased with application level of fly ash, indicating that the application of bituminous coal was more effective than that of anthracite. Contents of available phosphate, exchangeable  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  in soil were increased by application of fly ash, especially with bituminous coal. Contents of Cu, Cr, and Ni were increased with application level of bituminous coal, even if the contents were still lower than critical levels for farming land. The other heavy metals were similar between the control and the application of fly ash.

**Key words** : fly ash, anthracite, bituminous coal, heavy metal, tobacco growth

화력발전소의 부산물로 생성되는 석탄회의 발생량은 220만톤/년에 이르고 있으며 추가 발전소 건설이 완공되는 2000년에는 600만톤/년으로 증가될 것으로 예측되고 있다(김용웅 등 1994). 석탄회의

성분조성은 무연탄과 유연탄의 종류에 따라 다소 차이가 있으나 대체로 Si 와 Al 이 80% 이상이고 Fe 및 Ca 이 3%이상, Mg, Na, K,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , 및 S 가 0.1-0.3% 함유되어 있으며 그외의 미량요

\* 연락저자 : 361-763, 충북 청주시 개신동 48, 충북대학교 농과대학

\* Corresponding author : College of Agriculture, Chungbuk National University, 48 Gaeshin-dong, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

소들인 B, Mn, F, Zn, Cu, Mo, Cr, Ni, V, 및 I 가 0.01-0.1% 함유되어 있다(육창수 등 1994). 생성된 석탄회는 시멘트나 하수처리 흡착제 및 토양 개량제로 일부가 이용되고 있으나 대부분은 폐기물로 처리되며 환경오염문제와 관련되고 있다.

석탄회는 화학적 성분조성이 토양과 유사하기 때문에 농업적 활용이 검토되기 시작하였고(신제성 1987) 비료물질로서의 개발 가능성(신제성 등 1990, 1993, 1994)에 대하여 검토되었다. 또한 석탄회 사용량과 연용에 따른 경작지 토양의 중금속 축적에 관한 연구(김복영 등 1994a, 1994b)에서 석탄회 사용량의 증가와 연용은 토양중 중금속 함량을 증가시키는 경향이나 토양중 자연 함량 평균치의 표준편차 범위 이내이며 토성에 따라서는 일정한 경향이 없는 것으로 보고 되었다. 그리고 석탄회 사용에 따른 곡물중의 중금속 함량분포 조사(김복영 등 1994c, 1995)에서 일부 중금속은 증가되었으나 인축에 유해할 정도의 수준은 아니라도 9-12 MT/10a 의 과량사용은 농산물의 안정성을 위해 고려해야 된다고 하였다.

본 연구는 석탄회의 시용에 따른 연초재배 토양과 식물체의 중금속 함량에 관한 기초자료를 조사하고자 pots시험으로 수행 하였다.

### 재료 및 방법

본 시험은 1994년에 공시작물을 연초(NC82)로 하고 20L pots에 농과대학 시험포장의 토양을 충전하여 6반복 난괴법 배치의 pots시험으로 수행 하였다. 석탄회의 시용수준은 무연탄회와 유연탄회로 구분하여 각각 0, 0.4, 0.8, 1.2kg/pot 의 4개 수준으로 하였으며 작토층 15cm 깊이로 환산하면 0, 30, 60, 90 MT/ha 에 해당된다. 석탄회 사용은 연초묘 이식 1주일 전에 pots 토양 및 표준시비량의 연초용 복합비료와 완전히 혼합하여 pots에 충전 하였다.

공시토양의 화학성은 표 1과 같으며 pH 4.9의 산성토양이었고 비옥도가 비교적 낮은 편이었다. 공시재료인 석탄회의 물리화학성은 표 2와 같다. 석탄회의 입자조직은 미사가 73-79%를 차지하였

Table 1. Chemical properties of experimental soil

Soil Texture (USDA)	pH (1:5)	Organic Matter (g/kg)	Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Exchangeable Cations				CEC
				K	Ca	Mg	H0	
Sandy Loam	4.90	8.2	301.1	1.54	1.73	0.70	6.82	5.30

Table 2. Physico-chemical properties of fly ash

Fly Ash	Texture			Water Holding Capacity		
	Sand	Silt	Clay (%)	0.01	0.1	0.3 atm
Anthracite	15.4	79.0	5.6	34.0	33.7	29.1
Bituminous	14.0	73.4	12.6	51.2	50.4	49.0

Table 2. Continued.

Fly Ash	pH (1:5)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mg/kg)	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub> (g/kg)	Alkalinity
Anthracite	8.90	0.3	1475	7.3	0.8	11.5	9.0
Bituminous	9.48	0.2	1484	24.3	1.2	18.5	25.4

Table 2. Continued.

Fly Ash	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Fe	Mn
Anthracite	0.127	4.72	1.09	3.78	3.21	6.77	315.5	22.34
Bituminous	0.157	9.11	0.72	4.75	3.45	5.96	292.5	15.33

\* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ; 2 % citric acid soluble, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ; water soluble, CaO, MgO, SiO<sub>2</sub> ; 0.5N HCl soluble

고 보수력은 무연탄회보다 유연탄회가 더 컸다. 석탄회는 염기성으로 pH가 무연탄회보다 유연탄회가 더 높았으며 다양한 무기성분들과 중금속들이 함유되어 있고 특히 미량원소인 붕소가 다량 함유되어 있다.

연초묘는 4월 30일에 포트에 이식하였고 재배기간동안 수분은 포트 받침대를 설치하여 밑면에서 공급되도록 하였다. 연초의 생육조사는 이식후 10일 간격으로 최대엽의 장과 폭을 측정하여 성장속도를 비교하였고 이식후 60일째 처리구당 3주씩 식물체를 채취하여 생체중과 건물중을 조사하고 분석시료로 조제 하였다. 잎담배 수량은 나머지 3반복의 포트로부터 성숙엽을 6월 30일부터 7월 15일까지 3회에 걸쳐 수확하고 소형 벌크 건조기로 건조 하였다.

토양 일반 화학성은 농업기술연구소(현 농업과학기술원) 토양화학분석법(1988)에 준하여 분석하였다. 석탄회의 재료분석에서 유효규산은 1N Sodiumacetate(pH 4.0) 용액으로 침출시켜 비색법으로, 유효붕소는 Curcumin 비색법으로, 그리고 중금속은 DTPA 킬레이트법으로 분석 하였다(육창수 1994). 식물체 분석은 70°C에서 건조후 분쇄된 시료를 산 분해용액(HClO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 10:1)으로 습식 분해하여 전질소는 Kjeldahl 법으로, 인산은 Vanadate 법으로, 그리고 중금속과 K, Ca, Mg 은 원자흡광분광법으로 측정 하였다.

### 결과 및 고찰

그림 1은 연초 이식후 10일 간격으로 50일째까지 최대엽의 장과 폭을 곱한 면적으로 성장율을 나타낸 것이다. 이식후 30일째까지 연초의 초기생육은 유연탄회 0.8kg/pot 이상의 시용구를 제외하

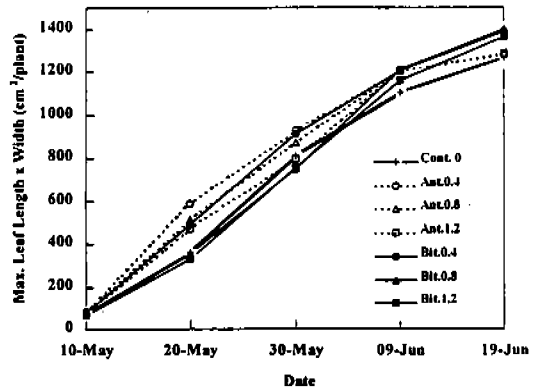


Fig. 1. Growth rate of maximum leaf area (length x width) of tobacco applied a different levels of ash.

고 석탄회 시용구가 무처리보다 양호하여 무연탄회 0.4 kg/pot에서 가장 컸다. 그러나 유연탄회 0.8kg/pot 이상 시용한 처리는 이식후 40일째부터 생장이 회복되어 최대엽의 성장량이 가장 컸다. 두과식물은 석탄회 재료중에 함유된 붕소량에 의하여 과량시용시 붕소독증에 의해 엽 가장자리가 갈변되며 괴사되고 생육장애를 유발하는 것으로 알려졌다(김재정 1992, 신계성 1993) 연초에서는 그러한 징후를 발견하지 못했다. 또한 붕소에 민감한 작물들은 석탄회의 과량시용에 의해 초기생육이 저해된다고 알려져 있는데 (Plank 등 1974, Hollis 등 1988, Aitken 등 1985) 연초는 유연탄회를 0.8kg/pot 이상 과량으로 시용했을 때 초기 생장이 약간 지연되는 경향을 보였다.

이식후 60일째 발육기의 성장량을 주당 생체중 및 건물중으로 표 3에 나타냈다. 최대엽의 성장량 변화와 유사하게 주당 건물중은 석탄회 시용처리가 무처리보다 많았으며 유연탄회 0.8 kg/pot 처리

Table 3. Fresh and dry weight of tobacco plants at the 60th day after transplanting

Treatment	Application Level (kg/pot)	Fresh Weight				Dry Weight			
		Leaves	Stem	Root	Total (g/plant)	Leaves	Stem	Root	Total
Control	0	253.3	104.0	29.1	386.4	35.7	12.7	4.6	53.0
Anthracite	0.4	266.5	114.1	35.7	416.3	37.7	13.8	5.7	57.2
	0.8	272.0	105.3	37.7	415.0	38.6	13.4	5.9	57.9
	1.2	282.9	101.6	35.6	420.1	39.6	12.2	5.6	57.4
Bituminous	0.4	263.0	109.7	34.1	406.8	37.0	13.6	5.3	55.9
	0.8	317.9	137.4	40.1	495.4	44.8	16.5	6.4	67.7
	1.2	285.7	42.3	42.3	370.3	40.8	5.2	6.7	52.7
LSD (0.05)									3.8

가 가장 높았다. 생육초기에 생장이 지연되며 최대엽의 성장율도 가장 낮았던 유연탄회 1.2 kg/pot 시용수준은 가장 낮은 건물중을 보였다.

수확엽의 생중과 건엽중은 표 4와 같다. 성장량에서 양호하였던 석탄회 시용처리는 무처리에 비하여 수량이 증가 하였으며 엽위별 분포에서도 무처리보다 중, 상위엽의 비율이 높았다. 그림 2에서 석탄회 종류별 시용수준에 따른 수량을 비교

해 보면 무연탄회는 시용수준에 따라 수량이 증가 되어 1.2 kg/pot에서 가장 많았다. 유연탄회는 0.8 kg/pot 처리에서 최대 수량을 보였고 1.2 kg/pot 처리에서는 오히려 수량이 감소 되었다. 이와같이 최대엽의 성장율, 발리기 건물중, 및 수량에서 유연탄회 과량 시용처리에서 오히려 감소되는 것은 육안관찰에 의한 장애증상은 출현되지 않았지만 유연탄회 과량시용에 의해 생육초기부터 장애를

Table 4. Fresh and dry weight of tobacco leaves at the harvesting time

Treatment	Application Level (kg/pot)	Fresh Weight				Dry Weight			
		Upper	Middle	Lower	Total (g/plant)	Upper	Middle	Lower	Total
Control	0	210.1	110.2	73.7	394.0	36.5	18.4	8.5	63.4
Anthracite	0.4	127.3	111.4	151.6	390.2	24.8	19.2	22.0	66.0
	0.8	132.9	149.0	122.1	404.0	25.6	25.5	17.6	68.6
	1.2	180.3	137.0	108.8	426.2	34.1	23.4	15.9	73.4
Bituminous	0.4	126.1	105.2	129.2	360.5	25.9	18.3	18.7	63.0
	0.8	148.0	132.7	147.1	427.7	29.5	23.0	21.5	73.9
	1.2	117.0	110.6	133.0	360.5	23.6	19.4	19.3	62.3
LSD (0.05)									4.2

Harvesting time : Lower leaves ; June 30, Middle leaves ; July 4, Upper leaves ; July 15

석탄회 사용이 연초 생육과 토양중 중금속 함량에 미치는 영향

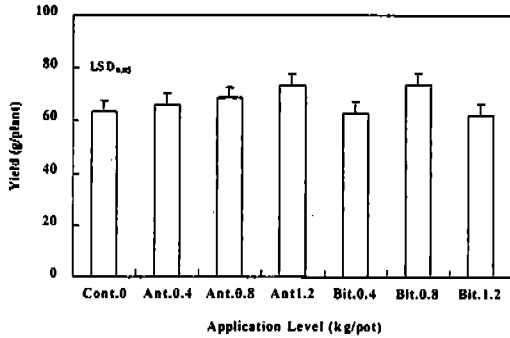


Fig. 2. Yield of tobacco applied with a different levels of fly ash. \* Bit. : Bituminous coal fly ash, Ant. : Anthracite fly ash.

받았기 때문으로 생각된다. 석탄회 과량사용에 의해 식물체의 초기생육이 억제되며 왜소해 진다는 보고들(Aitken 등 1985, Hollis 등 1988, 신제성 1993)로 미루어 볼 때 유연탄회 과량사용은 연초의 경우에도 붕소독증에 의해 생육이 저해된다는 것을 시사하고 있다.

석탄회 사용에 따른 수확엽중 내용성분들과 중금속 함량은 표 5에 나타났다. 잎담배 내용성분중 전질소 함량은 무처리보다 석탄회 사용구에서 감소되는 경향이었고, 석회 함량은 석탄회 사용에 따라 특히 유연탄회 사용수준이 증가함에 따라 증가되는 경향이었으나 다른 성분들의 함량은 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 석탄회 사용에 따른 잎담

Table 5. Chemical components in flue-cured leaves

Treatment	Application Level (kg/pot)	Stalk Position	Chemical Components (g/kg)							
			T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Total Alkaloid	Reducing Sugar	
Control	0	Upper	16.1	5.7	40.2	3.6	3.9	10.1	106	
		Middle	10.4	4.5	43.4	8.6	4.4	6.3	170	
		Lower	10.8	3.5	56.9	12.8	7.8	6.6	12.0	
	Anthracite	0.4	Upper	13.4	5.9	35.0	5.0	3.9	9.8	75
			Middle	8.6	4.7	35.0	5.4	3.4	4.2	150
			Lower	7.6	4.4	52.1	9.1	5.8	5.2	142
		0.8	Upper	13.9	6.3	38.4	4.5	3.0	9.4	93
			Middle	9.5	4.9	40.9	6.3	4.3	3.8	194
			Lower	7.5	4.6	46.9	11.6	5.9	3.1	125
1.2		Upper	13.3	6.3	38.0	5.0	4.0	11.5	106	
		Middle	8.5	4.3	34.7	3.5	3.1	3.5	140	
		Lower	7.3	4.4	44.3	10.7	5.0	2.8	90	
Bituminous	0.4	Upper	14.7	7.7	37.0	5.7	5.1	15.0	64	
		Middle	9.5	5.9	37.0	7.3	4.9	6.6	135	
		Lower	7.7	3.9	42.5	12.1	6.3	4.2	93	
	0.8	Upper	14.8	7.5	38.0	7.2	5.5	9.1	59	
		Middle	9.5	6.5	39.8	7.2	4.8	3.8	166	
		Lower	7.1	6.6	43.5	15.2	6.5	3.5	126	
	1.2	Upper	13.7	5.7	39.8	9.5	6.0	8.7	67	
		Middle	9.9	4.0	42.5	11.8	6.0	4.9	136	
		Lower	7.4	4.0	47.3	19.2	7.3	3.5	113	
Control	0	Upper	5.94	9.37	608	389	6.4	75	2.10	13.45
		Middle	6.91	7.64	528	454	4.0	58	2.30	8.33
		Lower	5.98	10.41	662	767	4.2	85	2.90	6.81

Table 5. Continued.

Treatment	Application Level (g/pot)	Stalk Position	Pb	Cr	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Co
Anthracite	0.4	Upper	5.22	9.67	510	313	5.5	55	2.10	11.31
		Middle	5.73	7.97	447	225	3.6	45	2.10	6.21
		Lower	5.81	11.96	538	356	4.3	79	2.50	9.03
	0.8	Upper	5.18	7.06	441	253	7.4	57	2.00	8.42
		Middle	6.27	8.94	456	242	4.0	49	2.20	8.13
		Lower	5.97	10.61	607	324	4.4	58	2.40	8.40
	1.2	Upper	5.46	6.42	392	232	4.7	55	2.00	8.42
		Middle	6.42	7.74	499	229	4.2	43	2.10	9.31
		Lower	6.31	15.15	653	313	4.4	60	2.40	11.05
Bituminous	0.4	Upper	5.57	7.06	389	176	4.4	48	1.90	7.03
		Middle	5.79	21.78	517	145	4.0	36	1.90	15.89
		Lower	5.83	9.49	599	157	3.9	42	2.10	8.78
	0.8	Upper	5.52	7.67	394	119	5.9	45	1.90	7.53
		Middle	5.87	10.17	494	100	4.6	28	1.90	9.32
		Lower	5.43	10.20	684	124	4.1	35	2.10	8.36
	1.2	Upper	5.69	7.96	432	92	5.7	71	1.90	8.74
		Middle	6.70	10.73	517	97	4.4	28	2.00	8.85
		Lower	6.24	13.39	667	109	5.4	30	2.10	10.32

배중 중금속 함량은 무처리와 별 차이가 없이 비슷한 함량을 보였다. 이는 석탄회 재료중에 함유된 미량의 중금속들이 재배기간동안 흡수되는 양이 무시될 정도로 적다는 것을 시사하고 있으며 다른 연구보고들(김복영 등 1994a, 1994b)과 유사 하였다.

석탄회 시용에 따른 시험후 토양의 화학성은 표 6과 같다. 토양 pH는 석탄회 시용수준에 비례하여 직선적으로 증가하였으며 특히 유연탄회 시용 처리에서 크게 증가하여 무처리의 4.45에 비하여 유연탄회 1.2 kg/pot 처리는 7.21 이었다. 유효인산 함량은 석탄회 시용으로 증가 되었으며 무연탄

Table 6. Chemical properties of soils after harvest of tobacco applied with fly ash

Treatment	Application level (kg/pot)	pH (1:5)	E.C (ds/m)	T-N (g/kg)	Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	O.M. (g/kg)	Exchangeable Cations		
							K	Ca	Mg
							(cmol/kg)		
Control	0	4.45	0.90	1.50	103	1.75	2.71	0.56	1.23
Anthracite	0.4	4.57	1.05	1.40	131	1.50	2.89	2.13	1.20
	0.8	4.73	0.75	1.70	124	1.66	2.36	2.40	1.10
	1.2	4.84	0.70	1.50	130	1.75	2.81	2.50	0.93
Bituminous	0.4	5.03	1.50	1.50	172	1.68	2.69	5.22	1.79
	0.8	6.10	0.95	1.20	220	1.84	2.79	5.74	2.26
	1.2	7.21	0.60	1.40	245	1.95	2.56	5.43	2.37

Table 6. Continued.

Treatment	Application level (kg/pot)	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Pb	Cr	Ni
		(mg/kg)							
Control	0	1.15	3.25	63.4	147.0	0.10	4.50	0.30	0.93
Anthracite	0.4	1.32	3.12	54.7	172.5	0.10	4.04	0.45	0.56
	0.8	1.48	2.91	43.2	164.0	0.06	3.60	0.30	1.11
	1.2	1.65	2.65	46.1	144.2	0.10	3.82	0.30	0.93
Bituminous	0.4	1.65	3.08	44.6	158.3	0.13	4.50	0.90	0.93
	0.8	2.63	3.85	44.6	147.0	0.13	4.05	1.05	1.30
	1.2	3.13	4.02	41.8	141.4	0.13	4.05	1.20	1.67

회보다 유연탄회에서 증가폭이 더 컸다. 또한 석회와 고토 함량도 석탄회 특히 유연탄회 시용량이 증가할수록 증가 되었다. 이러한 결과로부터 석탄회 특히 유연탄회는 토양의 산도교정 효과가 클뿐만 아니라 토양중 양분의 유효도를 증진시키는 것으로 생각 되었다. 석탄회 시용후 토양에 잔류되는 중금속 함량은 구리, 크롬, 및 니켈등이 유연탄회 시용수준에 따라 증가되는 경향을 보였으나 다른 중금속들의 함량은 무처리와 비슷 하였다. 토양중 구리 함량은 무처리 1.15 mg/kg에서 유연탄회 1.2kg/pot 시용이 3.13 mg/kg으로, 크롬은 무처리 0.30 mg/kg에서 유연탄회 1.2 kg/pot 시용이 1.20 mg/kg으로, 니켈은 무처리 0.93 mg/kg에서 유연탄회 1.2 kg/pot 시용처리가 1.67 mg/kg 으로 증가 되었다. 그러나 토양환경보전법(환경부 1996)의 농경지에 대한 오염우려기준에 포함된 구리와 크롬의 50 mg/kg 및 4 mg/kg 보다는 매우 낮은 함량을 보여 석탄회 시용에 따른 토양 및 식물체의 중금속오염은 우려할 수준이 아니었으며 김복영 등(1994a, 1994b)의 보고와 일치하였다.

### 결 론

석탄회의 농업적 활용을 위하여 연초에 대한 생장반응을 검토하고자 석탄회의 시용수준을 20L 풋당 0, 0.4, 0.8, 1.2 kg씩 4개 수준으로 하여 풋트 시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

석탄회의 시용은 연초의 생장을 양호하게 하였으나 유연탄회 1.2 kg/pot 처리는 붕소독중에 의하여 초기생육이 부진하였다. 일담배 수량은 무처리에 비하여 석탄회 시용으로 유의성있는 증가를 보였으며, 무연탄회는 시용수준이 증가할수록 증가되어 1.2 kg/pot에서 가장 높은 수량을 보였고, 유연탄회는 0.8 kg/pot 에서 최대 수량을 보였으나 1.2 kg/pot 처리에서는 감소 되었다. 석탄회 시용에 따른 일담배 내용성분은 무처리보다 질질소 함량은 감소되는 반면 석회 함량은 증가되는 경향을 보였을 뿐 중금속을 포함한 다른 성분들은 무처리와 차이를 보이지 않았다. 시험후 토양의 pH는 석탄회 시용수준이 증가할수록 직선적으로 증가하였으며 무연탄회보다 유연탄회 시용처리에서 현저 하였다. 시험후 토양중 유효인산, 석회 및 고토 함량은 석탄회 시용구에서 증가되는 경향이었으며 특히 유연탄회 시용처리에서 현저 하였다. 석탄회 시용에 따른 토양중 중금속 함량은 유연탄회 시용수준에 따라 구리, 크롬, 및 니켈이 증가되었으나 농경지의 토양오염 우려기준치보다 매우 낮은 함량이었다. 석탄회 시용은 토양의 산도교정뿐 아니라 토양중 양분의 유효도를 증진시켜 연초의 생육을 양호하게 하고 수량을 증가시킨 것으로 생각 되었다.

### 참 고 문 헌

김복영, 임선옥, 박종현 (1994a) 석탄회 시용이 토

- 양 중 중금속 함량에 미치는 영향 I. 시용량에 따른 함량변화. 한토비지 27 : 65-71.
- 김복영, 임선옥, 박종현 (1994b) 석탄회 시용이 토양 중 중금속 함량에 미치는 영향 II. 연용에 따른 함량변화. 한토비지 27 : 72-77.
- 김복영, 임선옥, 박종현 (1994c) 석탄회 시용이 토양 중 중금속 함량에 미치는 영향 III. 쌀과 콩의 중금속 함량변화. 한토비지 27 : 220-225.
- 김복영, 이종식, 소규호, 조재규, 박종현 (1995) 석탄회 시용이 토양중 중금속 함량에 미치는 영향 IV. 토양 침투수중 중금속 함량변화. 한토비지 28 : 130-134.
- 농촌진흥청(1989) 농토배양 10개년사업 종합보고서. 농업연구총서 18 : 84
- 농업기술연구소 (1988) 토양화학분석법
- 신제성, 임동규, 성기석 (1987) Fly Ash 비료화 연구 I. Fly Ash의 광물학적 특성. 한토비지 20 : 309-314.
- 신제성, 임동규, 성기석 (1990) Fly Ash 비료화 연구 II. 대두에 대한 Fly Ash 의 가리효과. 한토비지 23 : 204-207.
- 신제성, 임동규, 성기석 (1993) Fly Ash 비료화 연구 III. Fly Ash 의 붕소 독성. 한토비지 26 : 299-303.
- 신제성, 성기석, 최두희 (1994) Fly Ash 비료화 연구 IV. Fly Ash 를 이용한 지효성 가리 비료 개발. 한토비지 27 : 10-14.
- 육창수 외 5인 (1994) 토양 개량재로서의 석탄회 이용 연구. 한국전력공사 기술연구원. 단행본. 3-402.
- 환경부 (1996) 토양환경보전법령 : 38
- Aitken R. L. and L. C. Bell (1985) Plant uptake and phytotoxicity of boron in Australian fly ashes. *Plant and Soil* 84 : 245-256.
- Hollis J., F. R. Keren, and M. Gal(1988) Boron release and sorption by fly ash as affected by pH and particle size. *J. Environmental Quality* 17 : 181-184.
- Plank C. O. and D. C. WArrens (1974) Boron availability as influenced by application of fly ash · soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38 : 974-977.