

製鋼슬래그의 施用이 苗圃 및 소나무림의 土壤과 植物生長에 미치는 影響¹

朴仁協^{2*} · 徐鈴權² · 林俊澤³ · 李忠一⁴

Effects of Basic Oxygen Furnace Slag Application on Soils and Plant Growth at a Nursery and Pine Forests¹

In Hyeop Park^{2*}, Young Kwon Seo², June Taeg Lim³ and Choong Il Lee⁴

요 약

제강슬래그의 토양개량제로서의 이용 가능성을 구명하기 위하여 묘포와 소나무 천연림을 대상으로 수행하였다. 묘포는 무처리, 제강슬래그 4, 8, 12 t/ha 처리로 시험하였으며, 대상 수종은 소나무, 낙엽송, 쪽제비싸리 등 3개 수종이었다. 소나무림은 2개 지역 천연림을 대상으로 무처리, 제강슬래그 10, 20, 40 t/ha 처리로 시험하였다. 묘포의 토양특성 조사 결과 제강슬래그 시용 6개월 후에는 시용수준이 높을수록 pH와 Ca, Mg, SiO₂, Fe, Mn 함량 등이 유의적으로 증가하는 경향이였다. 묘목생장을 조사한 결과 소나무는 제강슬래그 처리구의 건중량이 무처리구보다 적었으며, 낙엽송은 큰 차이를 보이지 않았다. 당년 생장이 빠른 활엽수인 쪽제비싸리는 제강슬래그 12t/ha 처리구에서 건중량이 높고 T/R율이 낮은 우량한 묘목이 생산되었다. 제강슬래그 시용효과와 수종간 차이는 수종에 따라 적정 pH가 다르기 때문인 것으로 판단되었다. 소나무 천연림의 토양특성 조사결과 pH는 처리간 유의적인 차이는 없었으나 2개 조사지 모두 제강슬래그 시용수준이 높을수록 증가하는 경향이였다. Ca 함량은 처리간 유의적인 차이가 있었으며 제강슬래그 시용수준이 높을수록 증가하였다. SiO₂, Fe, Mn 함량은 제강슬래그 시용수준이 높을수록 증가하는 경향이였다. 소나무의 성장조사 결과 상층목의 순생산량은 유의적인 차이는 없었으나 제강 슬래그 10t/ha 처리구에서 가장 높은 값을 보였다. 하층 유령목의 경우 근원경생장과 소지 순생산량에서 처리간 유의적인 차이가 있었으며, 제강슬래그 10t/ha 처리구에서 가장 높았다. 이상을 종합하면, 제강슬래그의 시용은 묘포와 소나무림 토양 모두 pH와 Ca, SiO₂, Fe, Mn 함량 등을 증가시키는 효과가 있었으며, 토양 pH의 증가는 주로 제강슬래그의 주성분인 Ca 함량의 증가에 기인하는 것으로 판단된다. 식물 생장의 경우 수종에 따라 제강슬래그 시용효과가 다른 것으로 나타났는데, 이것은 수종에 따라 적정 pH가 다르기 때문이라고 판단된다. 따라서, 제강슬래그는 수종별 과다한 산성토양의 경우 토양개량제로 이용할 수 있음을 시사하고 있다.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effectiveness of basic oxygen furnace (BOF) slag as soil conditioner in a nursery and two natural forests. The BOF slag was applied at rates of 0, 4, 8, and 12 t/ha for seedbed nursery of three tree species-*Pinus densiflora*, *Larix leptolepis* and *Amorpha fruticosa*; and 0, 10, 20, and 40 t/ha for *Pinus densiflora* natural forests located at two sites. In case of the nursery study, the significant increase in soil pH and contents of Ca, Mg, SiO₂, Fe and Mn was noticed after

¹ 接受 2001年 5月 4日 Received on May 4, 2001.

審査完了 2001年 10月 15日 Accepted on October 15, 2001.

² 순천대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea.

³ 순천대학교 자원식물개발학과 Department of Resources Plant, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea.

⁴ 포항산림과학연구원 RIST, Kwangyang 545-090, Korea.

* 연락처자 E-mail : inhyeop@suncheon.ac.kr

six months of the BOF slag application. Dry weight of *Pinus densiflora* seedlings with BOF slag treatments was lower compared with that of control. There were no significant differences among treatments in dry weight of *Larix leptolepis* seedlings. Dry weight of *Amorpha fruticosa* seedlings, which are deciduous species and grow rapidly at seedling stage, increased significantly and T/R ratio decreased as BOF slag rate increased. The differences of effects of BOF slag application on the seedlings of tree species may be attributed to the differences of optimum pH range of the species. In *Pinus densiflora* natural forests, there were no significant differences in soil pH and contents of SiO₂, Fe and Mn among the treatments, but these values became higher as BOF slag rate increased. Contents of Ca in soil became significantly higher as BOF slag rate increased. There were no significant differences among treatments in net production of mature *Pinus densiflora* trees, but BOF slag rate of 10ton/ha showed the highest net production. Young *Pinus densiflora* trees at the plots of BOF slag rate of 10 t/ha showed significantly higher root collar diameter growth rate and twig net production than those of other treatments. It may be given as a conclusion that BOF slag application in nursery and forest soil increased soil pH and contents of Ca, SiO₂, Fe and Mn in soil and they showed the ability of BOF slag to be used as a soil conditioner in strongly acid soil.

Key words : chemical contents of soil, growth, net production, optimum slag application rate

서 론

제강슬래그(basic oxygen furnace slag)는 철 생산과정의 부산물로서 철 생산 톤당 약 150kg 정도가 발생하며, 한국에서는 1970년대 이후 제철산업이 발달함에 따라 제강슬래그가 대량 생성되고 있어서 효율적인 이용이 중요한 과제가 되고 있다. 제강슬래그의 주요 화학성분 함량은 Ca, Fe, Si, Mg, Mn이 각각 29, 21, 5, 5, 3%로 알려져 있으며, 미량이지만 인산도 0.5%, 그리고 free lime 형태로 CaO가 약 7% 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(Rodriguez 등, 1994). 따라서 제강슬래그는 토양 pH 개량제, Ca 공급원, Mg결핍 토양 개량제 등으로의 이용 가능성을 시사하고 있다.

외국에서 제강슬래그는 도로나(Jucks, 1988) 수로의 건설에(Koller, 1988) 이용되고 있으며, 농업적 이용에 관한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 임업적 이용의 경우 Pinto 등(1992)은 제강슬래그를 Ca공급원, 즉 토양개량제로서 강산성 산림에 시용한 결과 토양 pH의 증가, 수용성 Al의 감소를 가져왔고 산림 생산성이 증대하였다고 하였으며, Formoso 등(1991)은 나무 개체당 315g의 제강슬래그를 시용한 2년 후 성장량이 32% 증가

하였음을 보고하였다. Piret(1991)은 *Pinus nigra* 임분에 제강슬래그를 시용하였을 경우 수목 성장량과 생존율에서의 증가를 보고하였으며, Geiseler (1991)은 제강슬래그, 석회석 그리고 dolomite의 비교시험에서 제강슬래그가 타 토양개량제와 비슷한 효과가 있다고 하였다. 국내에서는 임업적 이용에 관한 연구는 보고되지 않았으나, 농업적 이용의 경우 임준택 등(1997, 1999)은 벼와 콩의 시험 포장에서 제강슬래그를 시용한 결과 토양 pH, Ca, Fe 함량 등이 유의적으로 증가하였으며 4~8t/ha 시용수준에서 가장 높은 벼와 콩의 수량을 얻었다고 하였다.

본 연구는 묘포와 소나무 천연림을 대상으로 제강슬래그의 시용에 따른 토양 개량 및 묘목과 임목 성장 효과를 파악함으로써 제철소에서 대량 생성되는 제강슬래그의 임업적 이용 가능성을 검토하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 제강슬래그

본 연구에서 사용한 제강슬래그는 포항산업과학연구원에서 제공한 것으로 무기화학적 성분은 Table 1과 같다. 묘포시험에 사용한 제강슬래그의 입경

Table 1. Chemical composition of basic oxygen furnace slag.

	Ca	Fe	Mg	Si	Mn	Al	P	Ni	Cr	Ti	Na	K
Conc.(g/kg)	283	218	53	83	25.7	13.4	9.5	0.07	0.68	3.40	0.53	0.33

은 2mm 이하로 하였으며, 소나무 천연림의 경우 항공사진포지 적정 입경이 2mm 정도인 점(이천룡, 1992)을 고려하여 입경 1~3mm를 사용하였다.

2. 시험지 조성

묘포 시험은 전남 순천시 서면 지본리에 위치하고 있는 순천대학교 묘포장에서 수행되었다. 파종 수종은 소나무, 낙엽송, 쪽제비싸리 등 3개 수종이었다. 시험구 배치는 제강슬래그 시용수준 0, 4, 8, 12t/ha 등의 4처리 난괴법 3반복으로 하였다. 제강슬래그 시용수준은 논과 밭토양에서 적정 시용수준이 4~8t/ha(임준택 등, 1997; 1999)인 점을 고려하였다. 집구별, 처리별 파종상은 폭 1m, 길이 7m로 하였으며, 각 파종상내에 소나무와 낙엽송은 각각 1m×1m, 묘목성장이 빠른 쪽제비싸리는 1m×3m의 면적을 할당하였다. 파종상 양쪽의 끝부분과 수종간에는 50cm의 간격을 두었다. 종자는 3개 수종 모두 동일 양묘회사에서 구입한 것으로서, 특별한 전 처리 없이 1998년 3월 26~28일에 파종하였다. 파종방법은 점파로 하였으며, 파종열간과 파종열내 간격은 묘목의 성장속도를 고려하여 소나무는 각각 5, 2cm, 낙엽송은 각각 2.5, 2cm, 쪽제비싸리는 각각 5, 4cm로 하였다. 파종 직후 집구별, 처리별 시용수준에 따라 제강슬래그를 시용하고 짚덮기를 하였다. 파종상의 작상, 시비, 제초등은 일반적인 양묘방법(임경빈, 1991)을 적용하였다.

소나무림은 순천시 서면 운평리와 승주읍 평중리의 2개 지역에서 시험의 편의를 위하여 해발 200m 지점의 경사도 5° 이하인 평탄지의 천연림을 시험지로 선정하였다. 운평리 소나무림 시험지내 상층목의 평균흉고직경은 13.1cm, 평균수고는 10.2m, 임목밀도는 1,479주/ha이었으며, 하층에는 소나무 유령목과 참나무류, 싸리류 등이 혼생하고 있었다. 평중리 소나무림 시험지내 상층목의 평균흉고직경은 11.3cm, 평균수고는 7.9m, 임목밀도는 1,220주/ha로서 운평리에 비하여 개체목의 크기가 작고 밀도가 낮았으며, 하층에 수령 5~10년 정도의 소나무 유령목이 우점종으로 고르게 분포하고 있었다. 시험구배치는 운평리와 평중리의 2개 시험지별 제강슬래그 시용수준 0, 10, 20, 40t/ha의 4처리 난괴법 3반복으로 하였다. 제강슬래그 시용수준은 논과 밭토양에서의 적정 시용수준 4~8t/ha(임준택 등, 1997; 1999)과

산지의 경우 유실량이 많은 점을 고려하였다. 집구는 경사와 수직방향으로 배치하였으며, 집구별, 처리별 시험구의 면적은 5m×5m로 하였다. 시험구간 제강슬래그의 유동을 고려하여 집구간, 처리간 각각 3m의 간격을 두고 시험구를 배치하였다. 2개 지역 시험지 모두 집구별, 처리별 시용수준에 따라 제강슬래그를 1998년 3월 14~15일 낙엽층 위에 사용하였다.

3. 토양 및 성장 조사

토양조사는 묘포와 2개 지역 소나무 천연림 모두 집구별, 처리별 임의의 5지점에서 표토를 채취하여 토양산도, 유효인산, K, Ca, Mg, Fe, Mn, SiO₂ 함량 등을 전남 농업기술원 식물환경과에서 분석하였다. 토양조사는 제강슬래그 처리 후 3개월 간격으로 6월과 9월에 2회 채취하여 분석하였다.

묘포시험지의 묘목 성장조사는 파종 후 3개월 간격으로 6월과 9월에 집구별, 처리별, 수종별 시험구당 40주씩의 묘목을 무작위로 선정 굴취하여 묘고, 근원경, 주근장, 부위별 건중량 등을 조사하였다. 소나무 천연림 시험지의 성장 조사는 운평리에서는 상층의 성숙목, 평중리에서는 하층의 유령목을 대상으로 처리당 준우세목 5주씩 총 40주의 표본목을 선정 벌목하여 수간석해 및 물질생산(Whittaker와 Marks, 1975) 조사를 하였다.

결과 및 고찰

1. 묘포의 제강슬래그 시용효과

1) 토양특성

Table 2에서 보이듯이 무처리구의 토양 pH는 6월과 9월에 각각 5.59, 5.38이었다. 토양 pH는 제강슬래그 시용 3개월 후인 6월에는 처리간 유의적인 차이는 없었으나 시용수준이 높아짐에 따라 증가하는 경향이였다. 시용 6개월 후인 9월에는 처리간 유의적인 차이가 있었으며 시용수준이 높아짐에 따라 토양 pH가 증가하였다. Ca, Mg, SiO₂, Fe, Mn 함량은 6월과 9월 조사시기 모두 제강슬래그 시용수준이 증가함에 따라 유의적으로 높아지는 경향이였다. 토양 pH의 증가는 제강슬래그의 주성분인 Ca 함량의 증가에 기인하는 것으로 판단된다. 한편, Fe 함량은 처리 후 시간이 경과함에 따라 비교적 빠르게 감소하였다.

Table 2. Effect of basic oxygen furnace slag application on the soil chemical properties in the nursery.

Month of sampling	Treatment (t/ha)	pH (1:5)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	K Ca Mg			Av. SiO ₂ Fe Mn		
				----- (cmol/kg) -----			----- (mg/kg) -----		
June	Control	5.59	146	0.70a	3.35c	0.73b	36b	34.7b	26.8b
	Slag 4	5.87	163	0.60ab	5.77b	0.77b	109ab	132.3a	100.9a
	Slag 8	6.53	104	0.52b	6.93ab	0.83a	164a	112.2a	105.3a
	Slag 12	6.49	138	0.49b	7.40a	0.86a	187a	141.3a	113.5a
	F-test	NS	NS	5%	1%	1%	5%	1%	1%
Sept.	Control	5.38c	136	0.48	2.64c	0.54b	33b	40.5b	26.1b
	Slag 4	6.16b	149	0.57	5.28b	0.64ab	108ab	82.8ab	69.3ab
	Slag 8	6.62ab	108	0.54	6.56ab	0.67a	133ab	85.3ab	85.8a
	Slag 12	6.72a	148	0.46	7.95a	0.72a	212a	131.9a	110.2a
	F-test	1%	NS	NS	1%	5%	5%	5%	1%

* F-test indicates the level of statistical significance of the difference among the treatments.

** Means followed by the same letters are not significantly different at the 5% level as determined by Duncan's Multiple Range Test.

2) 묘목생장

파종 및 제강슬래그 처리 3개월 후인 6월과 당년 생장이 완료되었다고 할 수 있는 9월의 소나무 묘목의 생장특성은 Table 3과 같다. 당년 생장이 완료된 9월의 묘고, 근원경, 잎과 줄기의 전체중량 등 지상부는 제강슬래그 시용수준이 높아짐에 따라 감소하는 경향이었으나, 주근장과 뿌리의 전체중량 등 지하부는 제강슬래그 4t/ha 처리구에서 가장 높은 값을 보였다. 묘목 생장의 종합적인 척도라고 할 수 있는 9월의 전체중량은 무처리구가 가장 많았으며 제강슬래그 시용수준이 높아질수록

감소하는 경향이였다.

낙엽송 묘목은 당년 생장이 완료된 9월에 제강슬래그 시용수준이 높을수록 묘고가 유의적으로 증가하였으며, 근원경은 유의적인 차이는 없었지만 증가하는 경향을 보였다(Table 4). 전체중량은 6월에는 제강슬래그 4t/ha 처리구가 유의적으로 많았으며, 9월에는 제강슬래그 시용수준이 높을수록 많아지는 경향이였으나 유의적인 차이는 없었다. T/R율의 경우 제강슬래그 시용수준에 따른 일정한 경향이 없었으며, 제강슬래그 처리구가 무처리구에 비하여 전반적으로 높은 값을 보였다.

Table 3. Effect of basic oxygen furnace slag application on growth of *Pinus densiflora* seedlings in the nursery.

Month of sampling	Treatment (t/ha)	Height (cm)	Root collar diameter (mm)	Main root length (cm)	Dry weight(g/20seedlings)				T/R ratio
					Needles	Stem	Root	Total	
June	Control	3.88ab	1.18	11.38a	1.70a	0.44a	0.87	3.02a	2.45ab
	Slag 4	3.97a	1.17	10.14b	1.54ab	0.42a	0.76	2.73ab	2.64a
	Slag 8	3.70b	1.16	10.30b	1.25c	0.33b	0.74	2.33b	2.13b
	Slag 12	3.28c	1.05	10.92ab	1.35bc	0.33b	0.76	2.45b	2.19b
	F-test	1%	NS	5%	5%	1%	NS	5%	5%
Sept.	Control	7.03a	1.61a	15.84bc	4.31a	1.62	1.82	7.76a	3.26a
	Slag 4	6.92a	1.60ab	16.94a	3.84ab	1.56	2.09	7.50ab	2.59ab
	Slag 8	6.65ab	1.53bc	16.13ab	3.13bc	1.31	1.86	6.28ab	2.42b
	Slag 12	6.31b	1.50c	15.01c	2.71c	1.28	1.83	5.86b	2.18b
	F-test	5%	1%	1%	1%	NS	NS	5%	5%

Table 6. Effect of basic oxygen furnace slag application on the soil chemical properties in natural *Pinus densiflora* forest at Unpyong-ri.

Month of sampling	Treatment (t/ha)	pH (1:5)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	K	Ca	Mg	Av. SiO ₂	Fe	Mn
					----- (cmol/kg) -----				
June	Control	5.37	7.0	0.24	1.60c	0.73	34b	24.3b	53.9
	Slag 10	5.45	10.3	0.25	2.76bc	0.90	58b	58.0b	80.8
	Slag 20	5.48	14.0	0.22	3.92ab	1.14	81ab	174.3ab	175.5
	Slag 40	5.54	13.3	0.17	5.05a	0.98	131a	270.8a	204.4
	F-test	NS	NS	NS	5%	NS	5%	5%	NS
Sept.	Control	5.18	8.3	0.19	1.83c	0.79	35c	29.4b	75.7
	Slag 10	5.52	7.0	0.23	2.57c	0.97	41c	47.4b	59.2
	Slag 20	5.39	11.6	0.21	3.81ab	0.98	80b	89.4b	132.0
	Slag 40	5.76	13.0	0.17	4.78a	0.89	131a	173.4a	147.0
	F-test	NS	NS	NS	5%	NS	1%	1%	NS

Table 7. Effect of basic oxygen furnace slag application on the soil chemical properties in natural *Pinus densiflora* forest at Pyongjung-ri.

Month of sampling	Treatment (t/ha)	pH (1:5)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	K	Ca	Mg	Av. SiO ₂	Fe	Mn
					----- (cmol/kg) -----				
June	Control	5.16	9.0	0.15	0.60b	0.55	37b	31.8b	24.27
	Slag 10	5.20	9.0	0.17	1.10b	0.26	44b	40.3b	22.60
	Slag 20	5.04	15.6	0.17	1.52ab	0.25	69b	160.0ab	51.27
	Slag 40	5.26	10.6	0.14	2.68a	0.27	206a	186.2a	47.83
	F-test	NS	NS	NS	5%	NS	5%	5%	NS
Sept.	Control	4.91	6.3	0.12	0.43b	0.13	39	58.6	24.91
	Slag 10	5.18	9.0	0.15	1.52a	0.26	56	74.1	22.83
	Slag 20	5.31	10.6	0.13	1.80a	0.26	77	56.1	33.11
	Slag 40	5.28	8.0	0.18	2.31a	0.30	84	100.6	40.01
	F-test	NS	NS	NS	5%	NS	NS	NS	NS

과 양료의 유효도에 기인하며 묘포 토양의 최적 pH는 수종에 따라 다르나 일반적으로 침엽수는 5.2~5.6, 활엽수는 5.6~6.0이라는 Pritchett(1979)의 보고를 고려할 때, 수종에 따라 적정 pH가 다르기 때문이라고 판단된다.

2. 소나무림의 제강슬래그 시용효과

1) 토양특성

소나무림 시험지 무처리구의 토양 pH는 6월과 9월에 운평리(Table 6)는 각각 5.37, 5.18, 평중리(Table 7)는 각각 5.16, 4.91이었다. 토양 pH는 2개 지역, 2개 조사시기 모두 처리간 유의적인 차이는 없었으나 제강슬래그 시용수준이 높을수록 증가하는 경향이였다. 토양내 Ca 함량은 2개

지역, 2개 조사시기 모두 처리간 유의적인 차이가 있었으며 제강슬래그 시용수준이 높을수록 증가하였다. 토양 pH의 증가는 제강슬래그의 주성분인 Ca 함량의 증가에 기인하는 것으로 판단된다. SiO₂, Fe, Mn 함량은 2개 지역, 2개 조사시기 모두 제강슬래그 시용수준이 높을수록 증가하는 경향이였으며. Fe 함량의 경우 처리 후 시간이 경과함에 따라 비교적 빠르게 감소하였다.

2) 임목생장

상층목을 대상으로 조사한 운평리와 하층의 율령목을 대상으로 조사한 평중리의 소나무 성장특성의 처리평균간 분산분석과 Duncan의 다중검정 결과는 Table 8과 같다. 흉고직경과 수고 생장율은 처리별 표본목간 기존의 흉고직경과 수고 생장

량의 차이를 고려하여 수간석해와 절간길이에 의하여 측정된 당년도 생장량을 제강슬래그 처리전 3년간의 연평균생장량으로 나눈 상대값으로 하였다.

운평리의 상층목은 흉고직경과 수고 생장율 모두 처리간 유의적인 차이가 없었다. 평중리 유령목의 경우 근원경 생장율은 처리간 유의적인 차이가 있었고 수고 생장율은 처리간 유의적인 차이가 없었으나 2개 형질 모두 제강슬래그 10t/ha 처리구에서 가장 높은 값을 보였다. 운평리의 상층목은 줄기, 가지, 소지, 잎, 전체 순생산량 모두 처리간 유의적인 차이가 없었으나 전체 순생산량의 경우 제강슬래그 10, 20, 40, 0 t/ha의 순으로 많은 경향이었다. 유령목을 조사대상으로 한 평중리의 경우 소지 순생산량에서 처리간 유의적인 차이가 있었으며 제강슬래그 10, 20, 0, 40t/ha의 순으로 많은 값을 보였다. 줄기, 가지, 잎, 전체

순생산량은 처리간 유의적인 차이는 없었으나 소지의 순생산량과 동일한 경향을 보였으며 전체순생산량의 경우 제강슬래그 10t/ha 처리구는 무처리구에 비하여 약 1.5배 정도 많은 값을 보였다. 운평리 상층목의 전체순생산량이 제강슬래그 10t/ha 처리구에서 가장 많은 것은 잎의 순생산량이 많으며 잎의 건중량에 대한 전체순생산량의 비 즉, 순동화율이 비교적 높기 때문이었다. 평중리 유령목의 경우 제강슬래그 10t/ha 처리구에서 전체순생산량이 가장 많은 것은 잎의 순생산량과 순동화율이 모두 높기 때문이었다. 한편 순동화율 즉, 잎의 생산능률은 2개 조사지 모두 제강슬래그 처리구가 무처리구에 비하여 전반적으로 높은 값을 보였다.

이상의 소나무림의 제강슬래그 처리에 따른 임목생장과 물질생산 결과를 종합하면 운평리 상층

Table 8. Effect of basic oxygen furnace slag application on growth and net production of *Pinus densiflora* in natural forests.

District	Treatment (t/ha)				F-test
	Control	Slag 10	Slag 20	Slag 40	
Unpyong-ri					
Mean age(yr)	22.0	20.3	22.7	20.0	—
Mean DBH(cm)	12.8	13.8	13.9	12.0	—
Mean Height(m)	10.73	9.53	11.13	9.98	—
DBH growth rate*	1.60	1.70	1.39	1.14	NS
Height growth rate*	1.14	0.96	1.29	1.23	NS
Net production (g/tree/yr)					
Stem and branches	1937	2221	3897	3278	NS
Twigs	1296	2318	708	573	NS
Needles	1927	2762	2311	1727	NS
Total	5160	7301	6916	5578	NS
Net assimilation rate**	2.14	2.42	2.41	2.58	NS
Pyongjung-ri					
Mean age(yr)	7.8	8.2	8.0	7.4	—
Mean root collar diameter(cm)	1.7	2.1	2.0	1.8	—
Mean Height(m)	1.55	1.45	1.49	1.34	—
Root collar diameter growth rate*	1.10ab	1.70a	0.99b	0.88b	5%
Height growth rate*	1.19	2.49	2.08	1.71	NS
Net production (g/tree/yr)					
Stem and branches	31	49	40	20	NS
Twigs	11ab	19a	17a	7b	5%
Needles	36	52	48	22	NS
Total	78	120	105	49	NS
Net assimilation rate**	2.10	2.30	2.18	2.27	NS

* Current year growth / mean annual growth during the last three years

** Total net production / needle biomass

목과 평중리 유령목 모두 제강슬래그 10 t/ha 처리구가 잎순생산량이 많고 비교적 순동화율이 높기 때문에 무처리구와 제강슬래그 20, 40 t/ha 처리구보다 전체순생산량이 많은 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 한편 순동화율은 동일 수종의 경우 임지생산력의 지표가 된다는 Zavitkovski와 Stevens(1972)의 보고를 고려할 때, 제강슬래그의 적정량 사용은 소나무림 임지의 생산력을 증가시키는 효과가 있음을 시사하고 있다. 한편, 본 연구는 제강슬래그 사용후 1년간의 조사에 국한되었기 때문에 실제적인 제강슬래그의 임업적 이용을 위해서는 보다 장기적인 연구가 이루어져야 할 필요가 있다.

인용문헌

1. 이천룡. 1992. 산림환경토양학. 보성문화사. 서울. pp. 350.
2. 임경빈. 1991. 조림학본론. 향문사. 서울. pp. 347.
3. 임준택, 권병선, 박인진. 1997. 제강슬래그를 원료로 하는 비료와 토양개량제 효과검증 작물재배실험. 포항제철보고서. pp. 94.
4. 임준택, 이인, 박인진, 이충일, 현규환, 권병선, 김학진. 1999. 논토양 비재배에서 제강슬래그의 토양개량제로서의 사용 효과. 한국토양비료학회지 32 (3) : 295-303.
5. Formoso A., F.A. Lopez, F. Medina and C. Trueba. 1991. Agronomic use of LD slag. ECSC Tech. Rep. 4. Convention 7210-XA/931. CENIM, Madrid, Spain.
6. Geiseler, J. 1991. ECSC Teck. Rep. 6. Convention 7210-xa/110.
7. Juckes, L.M. 1988. Improved utilization of blast furnace and steel works slags. EUR-11681 EN. Commission of the European Communities, Brussels.
8. Koller, W. 1988. Practical experience in road construction using LD slag. Information day on utilization of blast furnace and steelmaking slags. European Community, Liege, Belgium.
9. Pinto, M., M. Rodriguez, C. Trueba I. Larbru, R. Aldecoa and F.A. Lopez Gomez. 1992. LD slag as liming material. Effects on pasture yield and soil parameters. Proceedings second congress of the European Society for agronomy, Warwick University 23-28 Aug 1992. pp. 290-291.
10. Piret, J. 1991. ECSC Teck. Rep. 1-6. Convention 7210-XA/204.
11. Pritchett, W.L. 1979. Properties and Management of Forest Soils. John Wiley & Sons. New York. pp. 500.
12. Rodriguez, M., F.A. Lopez, M. Pinto, N. Balcazar and G. Besga. 1994. Basic Linz-Donawitz slag as a liming agent for pastureland. Agronomy Journal 86 : 904-909.
13. Whittaker, R. H. and Marks, P. L. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. pp. 55-118. In : H. Lieth and R.H. Whittaker, ed. Primary Productivity of the Biosphere. Springer-Verlag, New York.
14. Zavitkovski, J. and R. D. Stevens. 1972. Primary productivity of red alder ecosystems. Ecology 53(2) : 235-242.