

# 製紙슬러지 加工肥料의 施用이 樹苗의 生育에 미치는 影響\*

權琦遠\*\*·李奎承\*\*\*

## Effects of Paper Mill Sludge-Fertilizer Application on the Growth Performances of Tree Seedlings

Ki Won Kwon\*\* and Kyu Seung Lee\*\*\*

### Abstract

Effects of paper mill sludge-fertilizers were investigated on the growth performances of tree seedlings under field conditions. Two types of sludge-fertilizers applied were an organic sludge compost and a processed sludge-pellet fertilizer strengthened with several components of organic and inorganic nutrients. Three species of tree seedlings studied were ibota privet(*Ligustrum obtusifolium*) and yellow poplar(*Liriodendron tulipifera*) of 1-0 year seedlings and also eastern white pine(*Pinus strobus*) of 2-2 year seedlings.

Nitrogen and phosphorus contents of plot soil treated with sludge compost+sludge-pellet fertilizer+sludge-pellet fertilizer plot were increased to 8 times and 2.6 times as those of control plot, respectively. The growth performances of root collar diameter and seedling height were repeatedly measured up to five times through the growing season and the results were analyzed statistically by analysis of variance of randomized block design and Duncan's multiple range test. The growth performances of dry weight were measured after last fifth measurements.

\*\*충남대학교 농과대학 산림자원학과 (Dept. of Forest Resources, Coll. of Agriculture, Chungnam National Univ., Taejon 305-764, Korea)

\*\*\*충남대학교 농과대학 농화학과 (Dept. of Agricultural Chemistry, Coll. of Agriculture, Chungnam National Univ., Taejon 305-764, Korea)

◦ 본 연구는 한국과학재단에서 후원한 첨단기술 개발사업(911-1502-005-2)의 연구내용 중 일부입니다.

## 緒 言

산업 폐기물로 배출되는 슬러지, 특히 제지 sludge는 우리나라에서만 1년에 100여 만톤으로 심각한 자원낭비와 환경오염을 유발시키고 있다.<sup>1,2,3)</sup> 만약 이 슬러지의 특성을 조사하고 또 처리 가공하여 농작물 또는 수목에 비료로 사용하는 경우, 자원의 재활용과 오염물질의 경감이라는 중요한 두가지 효과를 기대할 수 있다.<sup>4,5,6,7)</sup> 제지슬러지 등의 폐기물은 유기물 함량이 많아 70~80% 까지 이를 때도 있으며 각종 유효한 비료 성분이 풍부하여 토양의 이화학적 성질을 개선하는데 유용하게 활용될 수 있다.<sup>8,9,10,11,12)</sup> 이 때문에 최근 농업 부문에서 제지슬러지 등의 폐기물을 비료 자원화하는 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 이들 연구 중에는 토양개량이나 생산성 증대 효과에 대한 것<sup>1,2,8,13,14,15,16,17,18,19,20,21)</sup> 이외에 유해 중금속 축적을 포함한 토양에 대한 각종 영향을 분석하는 연구가 진행되고 있다.<sup>1,2,3,9,16,22,23,24)</sup> 산림수목에 대한 시비는 그 생육촉진 효과에도 불구하고 임지의 낮은 경제적 생산성과 시비작업의 어려움 등으로 일부 제한적으로만 이루어지고 있다. 이 때문에 스룻지를 이용한 산지 시비 또한 아직까지 적극적으로 검토된 바 없으며 이에 대한 연구도 빈약한 실정이다.<sup>5)</sup> 우리나라의 경우, 새로 조림한 치수, 호도나무 등 비옥한 임지를 요구하는 유실수, 속성 특용수에 일부 시비가 되고 있지만 일반 용재수 성숙림, 천연 활엽수림에 값비싼 화학비료를 시비하는 일은 경제적으로 어려움이 많다. 또 산림토양이 척박하며 집중강우에 의한 무기양료의 유실이 심한 산림환경에서 생리적으로 양료의 흡수 속도가 비교적 완만하고 지속적으로 진행되는 수목에 시비할 경우에는 화학비료보다는 지표성 유기질비료의 이용이 바람직하다. 제지슬러지를 이용한 값싼 수목비료의 개발 연구는 그 원료 공급의 경제성과 환경오염 문제 해결, 가공에 따른 슬러지의 상대적 이용 효율 증대 및 산림 토양의 이화학적 성질 개선 등 다양한 가능성을 지니고 있다.<sup>1,2,3,4,9,10)</sup> 또한 농작물과 달리 유실수를 제외한 대부분의 임목은 식용으로 이용되는 경우가 적기

때문에 시비 시에 유해한 중금속이 수체 내에 집적된다 하더라도 그 위해성이 무시될 수 있다.

본 연구는 제지슬러지가 지니고 있는 여러가지 특성을 고려하여 그 슬러지비료의 사용효과를 높이고 편리하게 사용할 수 있도록 특수하게 가공한 후 그 비료의 효과를 무시비구 또는 가공치 않은 슬러지 유기물과 비교하였다. 이를 위해 몇가지 시비형태의 시험구를 조합하여 세 수종의 어린 묘목의 생육 시험에 적용하고 비료의 종류와 시비 유형에 따른 수종 및 생육시기 별 반응을 비교 분석하였다.

## 材料 및 方法

### 1. 대상수종

세가지 수종의 묘목을 대상으로 제지슬러지 가공비료의 시비 효과를 분석하고자 하였다. 이를 위해 활엽수 중에서 관목성인 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium* S. et Z.) 1-0묘와 교목성인 튼튼나무(*Liriodendron tulipifera* L.) 1-0묘를, 침엽수로는 교목성인 스트로브잣나무(*Pinus strobus* L.) 2-2묘를 시료목으로 선정하였다.

### 2. 대상비료

본 연구에서 평가 분석하고자 하는 주요 내용은 제지산업의 폐기물로 버려지는 슬러지를 수목의 생육촉진에 도움을 주는 유용한 형태의 비료로 가공하여 그 시비효과를 수종 및 시기별로 검정하고자 하는 것이다. 이를 위하여 유기질 원료로 제지슬러지와 돼지분뇨를 섞어 6개월 간 숙성시킨 슬러지퇴비(10%)와 생슬러지(15%)에 Table 1과 같이 요소, 용과린, 황산칼륨 등 무기질 비료를 첨가한 후 이들 비료가 빛물에 의해 급격히 분해, 유실되는 것을 억제하기 위한 교착제로 carboxymethyl cellulose(CMC; 0.2%)를 혼합하였다. 이와 같이 혼합된 재료를 직경 7 mm의 압출기를 통해 길고 가는 가닥으로 뽑아내면서 약 1 cm 길이의 pellet 형 토막으로 절단한 후에 음지에서 1일 간 건조하여 수분 함량을 20% 이하로 낮춘 다음에 수목비료(슬러지펠렛비료)로 사용하였

**Table 1. Components and raw materials of sludge-pellet fertilizer used in the study.**

Components	Raw materials
N (5%)	Urea(108g)
P (5%)	Fused and Superphosphate(250g)
K (5%)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (18g)+ Fly ash(360g)
B (0.1%)	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> · 10H <sub>2</sub> O(9g)
Mn (0.01%)	MnSO <sub>4</sub> (3g)
Organic Matter	Compost(100g)+Sludge(150g)
Binder	CMC*(2g)

\* CMC: Carboxymethyl Cellulose

다. 이와 같은 가공비료의 구성성분은 Table 1과 같다.

**3. 시험포지의 배치 및 시비 처리 방법**

시험에 사용된 포지는 충남대학교 산림자원학과에서 새로 조성한 묘포로 산을 절토하여 생긴 황폐지를 다시 복토, 개간하여 포지를 만들었다. 토양의 이화학적 성질중 토성은 사질양토에 가까운 마사토로 배수및 통기성이 비교적 양호한 편이다. 그러나 토양 양료가 대단히 부족하여 질소 0.02%, 인산 60ppm, 칼륨 0.36me/100g, 유기물 0.31%등으로 인위적인 시비 효과를 기대할 수있는 곳이다.

이 시험 포지에 대한 시비 형태는 Table 2에 제시된 바와 같이 총 6가지로 구분하여 (슬러지 퇴비), (슬러지 퇴비 + 슬러지펠릿비료), (슬러지퇴비 + 슬러지펠릿비료 + 슬러지펠릿비료), (슬러지펠릿비료), (슬러지펠릿비료 + 슬러지펠릿비료), (무시비)로 분류한 다음 수종별, 시비 형태 별로 3 반복씩 시비 처리하였다.

시험구에 대한 묘목의 이식은 1991년 4월 15일~4월 19일에 실시하였다. 배식은 수종별, 시비 형태 별로 각각 1m×1m의 정방형 plot을 3 반복씩 설치한 후에 각 1m<sup>2</sup> plot 별로 쥐똥나무는 64주, 튜립나무, 스트로브잣나무는 각각 36 주 씩 식재하였다. 최초 시비는 1991년 4월 24일 ~ 4월 26일 사이에, 2차

반복 시비구에 대한 시비는 1991년 8월 4일 ~ 8월 5일 사이에 실시하였다. 시비량은 분석 대상이 된 슬러지펠릿비료의 경우 매회 100g/m<sup>2</sup>, 슬러지퇴비는 1Kg/m<sup>2</sup>씩 이었다.

**4. 생육반응의 측정 및 결과 분석**

생육 상황을 측정할 때에는 각 plot 별로 가장자리에 식재된 묘목을 제외하고 plot 안에서 쥐똥나무 36주, 튜립나무 및 스트로브잣나무는 각 16주 씩만을 실제 측정하였다. 시기 별로 반복하여 측정할 때에 최초 측정 부위를 정확히 재 측정할 수 있도록 최초 측정된 부위에는 흰색 페인트로 가는 선을 표시하였다. 근원경 및 묘고에 대한 생육 반응 측정은 1차 (91.4.24~4.25), 2차 (91.6.22~6.23), 3차 (91.8.6~8.7), 4차 (91.9.14~9.15), 5차 (91.10.10~10.12)에 걸쳐 총 5회까지 약 1~2개월 간격으로 이루어졌다. 건중량 측정은 경시적인 생육량 측정을 끝낸 후 1991년 10월13일~10월25일 사이에 실시하였다. 수종별, 처리 시험구별, 반복별로 각각 10 본씩 굴취한 다음, 묘목의 잎, 줄기, 뿌리를 분리하여 70℃에서 24시간 건조시킨 후, 건중량을 측정하기 직전 105℃에서 30분간 재차 건조시킨 시료의 항중량을 측정하였다. 측정 결과에 대한 통계적인 비교 분석 및 유의성 검정을 위해 수종별, 처리 시험구별, 반복별, 측정 시기별로 얻어진 결과를 분류하였다. 이와 함께 난괴법에 의한 분산분석 및 Duncan's multiple range test를 실시하여 수종별, 시기별로 분석 대상이 된 슬러지 가공비료의 시비 형태에 따른 효과를 통계 분석하였다.

**結果 및 考察**

**1. 슬러지 비료의 시비에 따른 시험 포지의 토양 화학성 개량 효과**

분석 대상이 된 슬러지펠릿비료는 직경 5~7 mm, 길이 1cm 안팎으로 성형되었으며 흑회색으로 pH(1:5) 6.5의 산도를 나타내었다. 비료의 내부에 섬유소를 지니고 있어 빗물에 쉽게 부서지지 않고 일단 물을

흡수하면 다소 연화되었다가 다시 건조되면 단단하게 굳어 빗물에 쉽게 유실되지 않고 지속적으로 양료를 공급해 줄 수 있었다. Table 2에는 이들 슬러지비료의 시비 형태에 따른 시험 포장의 토양 화학성 개량 효과를 보여주고 있다. 시험포장은 절개되어 황폐된 곳을 다시 복토, 개간한 지역으로 대단히 척박한 마사토로 이루어져 있다. 이 때문에 기존의 경작지와는 달리 슬러지퇴비 또는 슬러지펠릿비료의 시비에 따른 토양 화학성 개량 효과가 분명히 나타나고 있었다. 즉, 1회의 슬러지퇴비 만을 사용한 토양에서도 무시비구에 비해 질소는 3.5배, 유기물은 2.5배 증가하였다. 기타 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등에서도 크게는 2배 가까이 많아지고 있음을 볼 수 있다. 특히 슬러지퇴비와 함께 슬러지펠릿 비료를 2회 사용한 토양에서는 전체 시비 처리구 중에서 가장 좋은 결과를 보였으며 무시비구에 비해 질소 성분은 8배, 인산 2.6배, C.E.C. 1.5배, 유기물 함량 4배의 뚜렷한 토양 개량 효과를 나타내고 기타 양료 역시 상당량 증가되고 있다. 제지슬러지 등 산업폐기물을 이용한 시비를 통해 토양 개량을 시도하는 많은 연구결과<sup>9,10,11,12,15,23,24</sup>)와 같이 본 연구는 제지슬러지를 가공한 비료가 새로 개간한 척박지 토양의 화학적 비옥도를 효과적으로 개선할 수 있는 가능성을 보여주었다.

**2. 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium* S. et Z.)의 생육에 미치는 슬러지비료의 영향**

쥐똥나무의 근원경 생장 추이를 보면 Table 3와 같다. 생육 초기인 1,2차 측정 시기에는 각각 2.19~2.39 mm, 2.46~2.96 mm 내에서 시비처리 조건에 따른 차이가 근소하거나 무시될 정도이며 통계적으로도 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 3차 측정 시기인 8월 초순부터는 그 값이 크게 벌어져 2.57~4.45 mm 까지 생육 차이를 나타내며 통계학적으로도 고도의 유의적인 차이가 인정되었다. 이와 같은 경향은 5차 측정 시기인 10월 중순까지 더욱 커져 2.92~6.31 mm까지 최소-최대치 간에 값이 2배 이상 벌어지고 통계적인 유의성도 더욱 분명히 인정되었다.

특히 전체 근원경 중에서 순수한 당년도 생장량만을 비교할 경우에는 0.53~4.09 mm 까지 그 차이가 더욱 커져 최저, 최고치 간에 약 8배에 가까운 차이를 보였다. 그러나 이와 같은 근원경의 생육량 순위는 측정 시기에 따라 상당한 변화를 보이고 있다. 최초에는 무시비구, 2차 측정 시기에는 슬러지펠릿비료 1회 시비구, 3차에는 슬러지퇴비+슬러지펠릿비료(1회) 시비구가 가장 좋은 생육을 보였다. 4차 이후에는 슬러지퇴비+슬러지펠릿비료(2회) 시비구에서 가장 좋은 결과를 보여 이들 슬러지비료의 생육

**Table 2. Effects of the sludge fertilizer application on the chemical properties of soil studied.**

Application* type	pH(1:5)	N(%)	P(ppm)	K	Ca	Mg	C.E.C.	Organic matter (%)
				(me/ 100g)				
Control	6.4	0.02	60.0	0.36	5.0	1.0	6.45	0.31
A	6.7	0.07	97.3	0.42	5.3	1.9	7.98	0.78
B	6.6	0.11	128.3	0.44	5.5	2.2	8.60	0.80
C	6.5	0.16	160.3	0.52	6.4	2.5	9.46	1.31
D	6.4	0.05	137.4	0.39	5.2	2.0	8.24	0.59
E	6.5	0.11	92.8	0.48	5.3	2.1	8.03	0.67

\* Control : no fertilization, A: Sludge compost (1Kg/m<sup>2</sup>)  
 B : Sludge compost + Sludge-pellet fertilizer(100g/m<sup>2</sup>)  
 C : Sludge compost + Sludge-pellet fertilizer + Sludge-pellet fertilizer  
 D : Sludge-pellet fertilizer, E : Sludge-pellet fertilizer + Sludge-pellet fertilizer

Table 3. Changes in root collar diameter of *Ligustrum obtusifolium* measured through the growing season by different fertilization type.

Fertilization type**	A	B	C	D	E	Control (mm)	F-value	Duncan's multiple range test (at .01 level)					
								Con.	D	A	B	C	E
April (I)	2.24	2.23	2.22	2.30	2.19	2.39	0.49 <sup>n.s.</sup>	Con.	D	A	B	C	E
June (II)	2.52	2.91	2.94	2.96	2.85	2.46	2.75 <sup>n.s.</sup>	D	C	B	E	A	Con.
August (III)	2.71	4.45	4.41	4.00	4.20	2.57	13.74**	B	C	E	D	A	Con.
September (IV)	2.81	4.94	5.64	4.44	5.04	2.72	25.42**	C	E	B	D	A	Con.
October (V)	2.93	5.43	6.31	4.82	5.55	2.92	49.03**	C	E	B	D	A	Con.

## \* Date of Field Measurement

April (I) : '91. 4. 24 ~ 4.25,                      June (II) : '91. 6. 22 ~ 6. 23  
 August (III) : '91. 8. 6. ~ 8. 7,                      September (IV) : '91. 9. 14 ~ 9. 15  
 October (V) : '91. 10. 10 ~ 10. 12

\*\* Fertilization type : refer to Table 2 for abbreviations

촉진 효과를 분명히 인정할 수 있었다. 각 시비 처리구에 따른 평균치 간 차이의 통계학적인 유의성 검정은 Duncan의 다중 검정으로 실시하였다. 슬러지퇴비와 슬러지펠렛비료를 복합적으로 또는 2회 사용한 처리구는 슬러지퇴비만을 사용한 처리구나 무시비구와는 분명한 차이를 보였다. 또 슬러지퇴비 + 슬러지펠렛비료 시비구 보다는 슬러지펠렛비료 2회 시비구가, 슬러지퇴비 시비구보다는 슬러지펠렛비료의 시비구가 3차 또는 4차 측정 시기 이후에 보다 우수한 생장을 보여주고 있다. 이는 타 연구에서와 마찬가지로 슬러지퇴비로 시비하는 것보다 유, 무기 양료를 보강하여 펠렛형으로 가공한 비료로 시비하는 것이 수목의 생육촉진에 보다 효과적이라는 점을 보여준 것이다.<sup>10,16)</sup>

취뽕나무 묘고 생장에 대한 시비 처리 효과는 Table 4에 보이는 바와 같이 근원경에 비해 빨리 나타나고 있다. 시비 전후의 1차 측정 시에는 처리구 간에 통계학적인 차이가 인정되지 않고 있다. 그러나 6월 하순의 2차 측정에서 부터는 처리구 간에 고도의 유의적인 차이를 보이고 있으며 그 차이는 생육 기

간이 지나면서 더욱 크게 벌어지고 있었다. 수고와 근원경에서 보이는 생육 반응의 시기적인 경향 차이는 수목 생장에서 흔히 나타나는 일반적인 경향으로 사료된다.<sup>25,26)</sup> 1차 측정시 처리구 간에 12.85~13.58 cm까지 거의 비슷한 묘고를 지니고 있지만 최종 5차 측정 시에는 15.86~40.15 cm까지 약 2.5배의 차이를 나타내고 있다. 이중 순수한 당년도 생장만으로 비교할 때 10배 이상의 생육 차이를 보이고 있어 스룻지비료 특히 슬러지펠렛비료의 시비에 따른 생육 촉진 효과를 분명히 알 수 있었다. Duncan의 다중검정을 통한 처리구 간의 비교에서도 최종 측정치의 경우, 슬러지펠렛비료의 2회 시비 또는 여기에 슬러지퇴비를 추가한 시비구는 다른 형태의 시비 처리구와 분명한 생육 차를 보이고 있다. 또한 근원경에서와 마찬가지로 시비 효과의 순위는 3차 측정 이후 부터 슬러지퇴비+슬러지펠렛비료(2회) 시비구, C > 슬러지펠렛비료 (2회) 시비구, E > 슬러지퇴비+슬러지펠렛비료, B > 슬러지펠렛비료, D > 슬러지퇴비, A > 무시비구, Control 순으로 이어졌다. 즉 슬러지퇴비의 시비 효과도 다소 있지만 이를 보

강하여 가공한 펠릿비료의 생육 촉진 효과가 더 우수하고 또 이 펠릿비료를 추가 시비할 때 더 나은 결과를 보이고 있다. 이는 펠릿비료의 시비량을 증가시켜 쥐똥나무의 근원경 및 묘고생장을 더욱 촉진할 수 있다는 가능성을 엿볼 수 있는 연구 결과로 사료된다.

최종 생장 측정 후에 굴취된 묘목의 건중량을 비교하는 Table 5에서 역시 무시비구가 총 1.70g으로 최하위를 보였다. 이와 함께 슬러지퇴비 만을 시비한 곳도 평균 2.15g으로 불량한 생육을 보이고 있다. 이에 비하여 슬러지퇴비+슬러지펠릿비료(2회) 시비구는 12.22g의 건중량으로 무시비구의 10배 이상 생육되고 있었다. 건중량에서의 전체적인 순위 역시

근원경 또는 묘고에서의 결과와 같으며 슬러지펠릿 비료는 슬러지퇴비 보다 우수한 효과를 보이고 있다. 묘목 부위별 건중량 비교에 있어서 뿌리 부분이 54.2~61.5%로 전체 건중량의 반 이상을 차지하며 잎은 10~15% 안팎의 적은 값이었다. 그러나 시비의 효과가 묘목의 어느 특정 부위에 더 크게 나타났는지는 분명치 않다.

**3. 튜립나무(*Liriodendron tulipifera* L.)의 생육에 미치는 슬러지비료의 영향**

튜립나무 1-0묘에 대한 시비처리 효과는 Table 6, 7, 8에서 그 결과를 비교할 수 있다.

근원경에 있어서 쥐똥나무와 같이 1,2차 측정까지

**Table 4. Changes in seedling height of *Ligustrum obtusifolium* measured through the growing season by different fertilization type.**

Fertilization type	A	B	C	D	E	Control	F-value	Duncan's multiple range test (at .01 level)					
								B	E	D	C	Con.	A
April (I)	12.85	13.58	13.34	13.53	13.57	13.20	0.28 <sup>n.s.</sup>	B	E	D	C	Con.	A
June (II)	14.36	22.24	21.75	21.04	21.82	14.10	25.47**	B	E	C	D	A	Con.
August (III)	15.07	29.27	31.16	24.74	29.31	14.60	77.07**	C	E	B	D	A	Con.
September (IV)	15.53	31.80	38.95	26.62	34.77	15.27	92.38**	C	E	B	D	A	Con.
October (V)	16.19	32.47	40.15	27.18	35.79	15.86	93.37**	C	E	B	D	A	Con.

**Table 5. The dry weights and proportions(%) of each part of *Ligustrum obtusifolium* seedling were measured after growing season by fertilization treatment.**

Treatment	Dry weight(g) and proportion(%) of each part of seedling			Total dry Wt./Seedling(gr.)
	root	stem	leaf	
A	1.322± 0.093(61.5)	0.605± 0.035(28.0)	0.225± 0.061(10.5)	2.15
B	4.878± 0.406(58.9)	2.461± 0.227(29.7)	0.946± 0.080(11.4)	8.29
C	6.680± 0.562(55.0)	3.653± 0.246(30.1)	1.885± 0.150(15.4)	12.22
D	3.113± 0.201(59.0)	1.595± 0.107(30.2)	0.570± 0.051(10.8)	5.28
E	5.562± 0.326(55.1)	3.395± 0.209(33.6)	1.141± 0.107(11.3)	10.10
Control	0.921± 0.067(54.2)	0.584± 0.024(34.4)	0.191± 0.109(11.2)	1.70

는 처리구 간에 3.24~3.80 mm, 3.45~4.36 mm로 미미한 차이를 보였다. 이후 3차 측정부터 처리에 따른 차이가 크게 벌어지고 있다. 3차에는 3.66~6.38 mm, 4차에는 3.78~7.56 mm, 5차에는 3.94~8.43 mm까지 약 2배 또는 그 이상의 차이를 보이며 통계학적으로 고도의 유의차가 인정되었다. 특히 당년 성장량만을 비교할 때 슬러지퇴비+슬러지펠릿비료(2회) 시비구는 무시비구에 비해 약 6.5배의 성장을 보였다. 그러나 슬러지퇴비만을 시비한 곳은 무시비구와 커다란 차이를 보이지 않았다. 시비구에 따른

순위는 4차 측정 이후 쥐똥나무와 같이 C > E > B > D > A > Control 순이었으나 Duncan의 다중검정 결과는 쥐똥나무와 다른 경향을 보이고 있다. 그러나 튼튼나무의 근원경 성장에서도 슬러지펠릿비료의 생육 촉진 효과는 분명하며 추가시비 가능성 또한 인정되었다.

묘고성장 역시 1,2차에서 6.9~7.9 cm, 8.21~12.12 cm의 근소한 차이로 통계학적인 유의차가 없었다. 그러나 근원경과 같이 3차 부터는 그 생육 차이가 크게 벌어졌다. 3~5차까지 각각 8.55~18.37 cm, 9.

**Table 6. Changes in root collar diameter of *Liriodendron tulipifera* measured through the growing season by different fertilization type.**

Fertilization type Growing season	A	B	C	D	E	Control (mm)	F-value	Duncan's multiple range test (at .01 level)					
								C	E	A	B	D	Con.
April (I)	3.69	3.59	3.80	3.44	3.75	3.24	0.99 <sup>n.s.</sup>	C	E	A	B	D	Con.
June (II)	3.87	4.00	4.36	4.08	4.33	3.45	1.29 <sup>n.s.</sup>	C	E	D	B	A	Con.
August (III)	4.10	5.64	6.38	5.12	5.61	3.66	7.45**	C	B	E	D	A	Con.
September (IV)	4.36	6.25	7.56	5.53	7.22	3.78	13.81**	C	E	B	D	A	Con.
October (V)	4.64	6.80	8.43	6.13	8.00	3.94	23.09**	C	E	B	D	A	Con.

**Table 7. Changes in seedling height of *Liriodendron tulipifera* measured through the growing season by different fertilization type.**

Fertilization type Growing season	A	B	C	D	E	Control (cm)	F-value	Duncan's multiple range test (at .01 level)					
								E	A	C	B	Con.	D
April (I)	7.70	7.25	7.42	6.90	7.90	7.19	0.57 <sup>n.s.</sup>	E	A	C	B	Con.	D
June (II)	8.95	11.51	12.12	11.14	12.03	8.21	2.49 <sup>n.s.</sup>	C	E	B	D	A	Con.
August (III)	9.60	14.57	18.37	13.25	15.87	8.85	10.27**	C	E	B	D	A	Con.
September (IV)	10.01	15.79	20.30	14.17	19.34	9.09	25.44**	C	E	B	D	A	Con.
October (V)	10.78	16.13	20.60	14.67	19.81	9.47	23.00**	C	E	B	D	A	Con.

**Table 8. The dry weights and proportions(%) of each part of *Liriodendron tulipifera* seedling were measured after growing season by fertilization treatment.**

Treatment	Dry weight(g) and proportion(%) of each part of seedling			Total dry Wt./Seedling(gr.)
	root	stem	leaf	
A	2.155± 0.171(68.8)	0.620± 0.038(19.8)	0.357± 0.065(11.4)	3.13
B	5.704± 0.497(70.1)	1.355± 0.101(16.6)	1.087± 0.117(13.3)	8.15
C	11.581± 0.996(68.0)	2.608± 0.191(15.3)	2.843± 0.259(16.7)	17.03
D	5.574± 0.476(72.6)	1.315± 0.108(17.1)	0.789± 0.094(10.3)	7.68
E	10.809± 0.966(70.0)	2.383± 0.251(15.5)	2.229± 0.204(14.5)	15.42
Control	1.481± 0.198(69.3)	0.557± 0.029(26.1)	0.098± 0.029( 4.6)	2.14

**Table 9. Changes in root collar diameter of *Pinus strobus* measured through the growing season by different fertilization type.**

Fertilization type	A	B	C	D	E	Control (mm)	F-value (at .05 level)	Duncan's multiple range test (at .1 level)					
April (I)	6.69	6.70	6.34	6.20	6.30	6.70	1.22 <sup>n.s.</sup>	B	Con.	A	C	E	D
June (II)	7.24	7.29	7.39	7.01	7.03	7.12	0.44 <sup>n.s.</sup>	C	B	A	Con.	E	D
August (III)	7.60	7.92	8.05	7.34	7.68	7.43	0.96 <sup>n.s.</sup>	C	B	E	A	Con.	D
September (IV)	7.83	8.35	8.42	7.58	8.08	7.58	1.91 <sup>n.s.</sup>	C	B	E	A	D	Con.
October (V)	8.26	8.77	9.18	8.21	8.74	8.06	1.48 <sup>n.s.</sup>	C	B	E	A	D	Con.

09~20.30 cm, 9.47~20.60 cm로 최고, 최저치 간에 2배 이상의 차이를 보이며 당년 성장량 만으로는 약 6배의 차이가 있었다. 앞에서와 같이 시비 효과는 2차 측정 이후 슬러지퇴비+슬러지펠렛비료(2회) 시비구가 가장 우수하였다. 또 그 순위는 항상 C > E > B > D > A > Con. 이었다. Duncan의 다중검정 결과를 보면 처리간 차이는 생육기가 지나면서 더욱 벌어지고 있었다. 특히 그 차이는 슬러지펠렛비료의 사용 횟수에 따라 뚜렷이 구분되었으며 슬러지퇴비의 시비 유부는 상대적으로 큰 영향을 미치지 않았다.

5차 측정 후 굴취된 묘목의 건중량(Table 8)은 전체적으로 70% 안팎을 뿌리가 차지하였다. 그러나

줄기의 건중량은 15.3~26.1%, 잎은 4.6~16.7%까지로 처리구 간에 차이를 보였다. 이는 슬러지펠렛비료의 시비가 엽생장에 더 영향을 주기 때문으로 해석된다. 슬러지펠렛비료를 2회 시비한 E 처리구의 결과에서도 그같은 사실은 증명된다. 아울러 토양 양료가 거의 없는 무시비구에서 튜립나무 묘목의 생육 부진은 주로 잎에 뚜렷이 나타났다.

**4. 스트로브잣나무(*Pinus strobus* L.)의 생육에 미치는 슬러지비료의 영향**

스트로브잣나무의 근원경 성장 추이는 Table 9과 같다.



1차 측정시, 6.20~6.70 mm에서 5차 측정시의 8.06~9.18 mm까지 전반적으로 미미한 성장을 보였다. 이와 함께 슬러지퇴비+슬러지펠렛비료(2회) 시비구가 다른 처리구보다 다소 큰 값을 보이지만 그 차이는 통계학적인 유의 수준을 밑돌았다. Duncan의 다중검정에서도 유의 수준을 10%까지 확대했을 때 두가지 처리 그룹으로 구분되었다. 단순한 평균치의 순위에서도 쥐똥나무 또는 튜립나무와는 달리 C > B > E > A > D > Con. 순 이었다.

수고생장(Table 10)에서도 1차 13.95~16.00 cm에서 5차 측정의 20.19~22.44 cm까지 약 5 cm 안팎의 미미한 성장을 보였다. 처리구 간의 평균치 차이는

언제나 크지 않았으며 통계학적인 유의차 또한 인정할 수 없었다. Duncan의 다중검정에서 그 유의 수준을 10%까지 확대 시에도 처리 평균치 간의 유의차는 인정되지 않았다. 다만 평균치 순위에서 슬러지퇴비+슬러지펠렛비료(2회) 시비구는 다른 모든 처리구에 비해 다소 높은 값을 보였을 뿐이다. 처리 평균치의 순위 또한 쥐똥나무, 튜립나무와는 다르며 스트로브잣나무 근원경 평균치의 순위와도 일치하지 않아 슬러지비료의 효과를 알 수 없었다. 침엽수의 수고생장, 특히 스트로브잣나무의 년간 고유 성장 패턴은 수고에서 단 1회의 순발생장에 따른 uninodal shoot의 형성이 전부이다. 이 때에 이루어지는 순발

Table 10. Changes in seedling height of *Pinus strobus* measured through the growing season by different fertilization type.

Fertilization type		A	B	C	D	E	Control (cm)	F-value	Duncan's multiple range test (at .01 level)					
April	(I)	15.98	15.25	16.00	15.11	13.95	15.94	1.01 <sup>n.s.</sup>	C	A	Con.	B	D	E
June	(II)	19.33	19.01	19.86	18.02	17.44	18.00	0.62 <sup>n.s.</sup>	C	A	B	D	Con.	E
August	(III)	20.47	20.15	21.02	19.41	18.75	18.97	0.49 <sup>n.s.</sup>	C	A	B	D	Con.	E
September	(IV)	21.08	20.57	21.86	20.31	19.62	19.43	0.47 <sup>n.s.</sup>	C	A	B	D	E	Con.
October	(V)	21.46	20.94	22.44	20.71	20.24	20.19	0.40 <sup>n.s.</sup>	C	A	B	D	E	Con.

Table 11. The dry weight proportions(%) of each part of *Pinus strobus* seedling were measured after growing season by fertilization treatment.

Treatment	Dry weight(g) and proportion(%) of each part of seedling			Total dry Wt./Seedling(gr.)
	root	stem	leaf	
A	10.500± 0.528(50.5)	4.549± 0.225(21.9)	5.740± 0.465(27.6)	20.79
B	12.203± 0.497(51.6)	5.001± 0.234(21.2)	6.444± 0.408(27.2)	23.65
C	14.080± 1.298(50.7)	5.947± 0.576(21.4)	7.769± 0.841(27.9)	27.80
D	12.071± 0.798(53.6)	4.592± 0.297(20.5)	5.834± 0.489(25.9)	22.50
E	12.976± 1.482(51.3)	5.269± 0.560(20.9)	7.014± 0.830(27.8)	25.26
Control	9.151± 1.210(56.9)	4.390± 0.387(27.3)	2.546± 0.316(15.8)	16.09

생장은 대부분 전년도 체내에 축적된 저장양료에 의지하고 있다.<sup>25,26)</sup> 이 때문에 당년의 슬러지비료 시비 효과는 그 해에 나타나지 않은 것으로 사료된다.

5차 측정 후에 굴취된 묘목의 건중량 역시 뿌리가 50.5~56.9%, 줄기가 20.5~27.3%, 칩엽이 15.8~27.9%, 이었다. 무시비구에서 칩엽의 비율이 다소 적은 것 같지만 특별히 시비 효과와 관련된 영향을 찾기는 어려웠다.

세가지 수종에서 보여준 결과를 종합해 볼 때 슬러지펠렛비료의 시비 효과는 무시비 또는 슬러지퇴비 시비 보다 우수한 것으로 평가되었다. 이와 같은 점은 잔디 등 원예작물에서 얻어진 결과<sup>12,16)</sup>와도 유사하였다. 이들 비료의 시비에서 쥐똥나무와 튜립나무와 같은 활엽수에서는 시비 당년에 분명히 그 효과가 나타났다. 반면에 스트로브잣나무와 같이 1년에 단 1회의 순발생장을 보이는 침엽수에서는 그 시비 효과를 바로 그 해에 파악할 수 없었다. 수목의 수고 생장은 보통 근원경에 비해 조기에 시작되어 일찍 정지되며 근원경은 보다 완만하고 지속적인 성장을 이룬다.<sup>8,17)</sup> 본 실험에서도 쥐똥나무의 경우 그와 같은 경향을 보여 슬러지비료의 시비 효과를 근원경에서 보다 묘고 성장에서 더 빨리 알 수 있었다. 수체의 건중량에서 근계가 차지하는 비율이 50~70% 안팎으로 보이지만 슬러지펠렛비료의 시비 효과는 잎에서 보다 뚜렷하였다.

## 摘 要

제지슬러지 비료의 포장 시비에 따른 묘목 생육 효과를 조사하였다. 시비에 쓰인 두가지 슬러지비료 중 하나는 슬러지퇴비이며 다른 한 가지는 슬러지에 몇가지 유기양료를 첨가하여 펠렛 형태로 성형한 것이다. 시비 처리 유형은 총 6가지로 슬러지퇴비, 슬러지퇴비+슬러지펠렛비료, 슬러지퇴비+슬러지펠렛비료 2회시비, 슬러지펠렛비료, 슬러지펠렛비료 2회시비 및 무시비구로 구분되었다. 연구 대상 수종은 3가지로 관목성 활엽수인 쥐똥나무와 교목성 활엽수인 튜립나무 각각 1-0묘, 침엽수로 스트로브잣나무

2-2묘를 사용하였다. 묘목은 새로 개간하여 양료가 거의 없는 척박한 포지에 수종 별, 처리 별로 1 m × 1 m 방형구 3반복 씩 식재하였다. 처리 유형에 따른 차이는 있지만 슬러지비료를 시비한 후에 시험 포지의 토양 비옥도와 화학적 성질은 현저하게 개선되었다. 근원경과 묘고는 생육 기간중 반복적으로 5회까지 측정되었으며 분산분석과 Duncan의 다중검정을 통해 통계학적으로 분석되었다. 쥐똥나무의 근원경과 튜립나무의 근원경 및 묘고는 제 2차 측정 시까지 처리 평균치 간에 통계학적인 유의차를 보이지 않았다. 그러나 그 이후 5차 측정까지 이들의 생장은 처리 간에 상당한 차이를 보이고 그 차이는 통계학적으로 고도의 유의성을 보였다. 쥐똥나무의 묘고성장에서 그 통계학적인 차이는 더욱 빨리 제 2차 측정 시부터 인정되었다. 슬러지퇴비+슬러지펠렛비료(2회)시비구는 시비 처리 이후 항상 최고 성장치를 보였다. 위에 언급된 두 활엽수종의 근원경 및 묘고 성장 촉진에 슬러지펠렛비료는 슬러지퇴비 보다 효과적이었다. 스트로브잣나무의 근원경과 묘고생장은 슬러지비료 시비에 거의 영향을 받지 않았다. 이는 다른 두 활엽수종과는 다른 스트로브잣나무의 독특한 성장 패턴에 기인하는 것으로 생각된다.

## 引用文獻

1. 장기운, 김상덕, 최우영, 이규승 (1992) : 製紙 스투지 堆肥의 農業的 利用研究. I, 강남콩에 對한 施用效果, 韓土肥誌 25(2) : 149~154.
2. 장기운, 김상덕, 최우영, 이규승 (1992) : 製紙 스투지 堆肥의 農業的 利用研究. II, 당근에 對한 施用效果, 韓土肥誌 25(2) : 155~159.
3. 한기학 (1978) : 有機質肥料 資源으로서의 産業 廢棄物, 韓土肥誌, 11(3) : 195 ~205.
4. Douglas, J. and Hermann, P. E. (1982) : Prospects for land application of wastewater sludges from the paper industry, *Environmental Conference* : 79-92.

5. 韓舜教, 李華珩 (1987) : 製紙 슬러지 肥料化 研究, 韓國펄프·종이工學會誌, 19(2) : 56~63.
6. 정갑영, 신재성, 박영선, 한기학 (1981) : 산업폐기물의 비료화에 관한 연구 I, 자원조사, 韓土肥誌, 14(2) : 83-85.
7. McGovern, J. N. et al. (1983) : Characteristics of combined effluent treatment sludges from several types of pulp and paper mills, *Tappi Joul.*, 115-118.
8. Bures, D. and Soliva, M. (1983) : Composting sewage sludge-pine bark. *Acta Horticulture*, 150 : 545-551.
9. Epstein, E., J. M. Taylor, and Chaney, R. L. (1976) : Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.* 5(4) : 422-426.
10. 이규승 등 (1991) : 산업폐기물의 활용에 관한 연구, 제지스러지의 비료자원화 및 토양개량 효과, 한국과학재단, 911-1502-005-2 : 1~170.
11. 이규승, 최종우, 송재영, 김문규 (1991) : 제지스러지 시용토양의 성질 변화, 충남대, 농업과학연구보고, 18(1) : 74-79.
12. 吳旺根 (1978) : 有機物の 施用이 土壤의 化學的性質에 미치는 影響, 韓土肥誌, 11(3) : 161~174.
13. Aspitarte, T. R. et al. (1973) : Pulp and paper mill sludge disposal and crop production, *Tappi*, 56(10) : 140-144.
14. Carlile, W. R. and Davies, L. G. (1983) : The use of composted peat-sludge mixtures in horticultural growth. *Acta Horticulture* 150 : 511-517.
15. Coosemans, J. and Van Assche, C. (1983) : Possibilities of sewage sludge used as a fertilizer in agriculture, *Acta Horticulture* 150 : 491-502.
16. 具滋馨, 金泰日, 安周源, 李奎承, 金文圭 (1992) : 슬러지肥料가 園藝作物의 生育에 미치는 效果, 충남대 농업과학연구보고, 19(1) : 16-27.
17. 신재성 (1984) : 産業廢棄物の 肥料化에 關한 研究 III, 田作物에 對한 石灰添加 麥酒污泥의 肥效試驗, 韓土肥誌, 17(1) : 51~54.
18. 신재성, 한기학 (1984) : 産業廢棄物の 肥料化, 農業廢棄物の 活用に 對한 워크샵, 韓國農化學會誌 Vol. 27. 別號 : 68~79.
19. 愼齊晟, 林東圭, 成者錫 (1983) : 産業廢棄物の 肥料化에 關한 研究 II, 水稻에 對한 酒精污泥 肥效試驗, 韓土肥誌, 16(3) : 256~259.
20. Sikora, L. J., C. F. Tester, J. M. Taylor, and Parr, J. F. (1980) : Fescue yield response to sewage sludge compost amendments, *Agron. J.*, 72 : 79-84.
21. Simson, C. R., K. A. Kelling, and Liege, E. A. (1973) : Paper mill lime-sludge as an alternative liming material, *Agron. J.*, 73 : 1003-1008.
22. 許鐘秀, 金廣植 (1985) : 製紙슬러지의 施用이 土壤의 化學性과 水稻生育에 미치는 影響. I, 슬러지 施用이 土壤中 窒素形態 및 無機成分變化에 미치는 影響, 韓國環農誌, 4(2) : 78~87.
23. 許鐘秀, 金廣植, 河浩成 (1988) : 製紙슬러지의 施用이 土壤의 化學性과 水稻 生育에 미치는 影響 III, 슬러지施用이 水稻生育에 미치는 影響, 韓國環農誌, 7(1) : 26~33.
24. 許鐘秀, 金廣植, 河浩成 (1987) : 製紙슬러지의 施用이 土壤의 化學性과 水稻生育에 미치는 影響 IV, 슬러지 施用이 土壤中 揮發性低級脂肪酸變化에 미치는 影響, 韓國環農誌, 7(1) : 34~42.
25. Daniel, T. W., J. A. Helms, and Baker, F. S. (1979) : Principles of Silviculture. *McGraw-Hill Book Co.* : 98~167.
26. Kramer, P. K. and Kozlowski, T. T. (1979) : Physiology of Woody Plants, A.P. Inc. Ltd., 13~112.