

목질폐잔재 탄화물의 토양개량 효과(2)^{*1}

신 창 섭^{*2} · 김 병 로^{*3†}

Effect of Carbonized Wastewoods on Soil Improvement(2)^{*1}

Chang-Seob Shin^{*2} · Byung-Ro Kim^{*3†}

요 약

본 연구는 목탄의 모양과 탄화된 수종의 종류에 따른 토양개량 효과를 시험하기 위해 수행되었다. 결과에 따르면 서양측백과 칠엽수 묘목 모두 무처리 토양에서보다 목탄 처리 토양에서 더 잘 자랐다. 분말탄의 경우, 서양측백나무 묘목 생장은 잣나무 목탄으로 처리된 토양에서 가장 좋았으며 낙엽송, 파티클보드, 상수리나무 목탄 순으로 컸다. 입상탄의 경우 묘목 생장은 낙엽송, 파티클보드, 잣나무 목탄의 순으로 컸다. 또한 토양공극과 유기물 함량도 무처리 토양에서보다 목탄 처리 토양에서 더 큰 것으로 분석되었다. 목탄 처리 토양에서 묘목생장이 더 좋았던 것은 근계에서의 통기성과 유기물 흡착이 증가되었기 때문인 것으로 추정된다.

ABSTRACT

This study was carried out to examine the effect of soil improvement according to the shape of charcoal and the kind of carbonized tree species. As the results, all of the seedlings of *Thuja occidentalis* and *Aesculus turbinata* grew better in the charcoal-treated soil than the non-treated soil. In case of powder charcoal, *Thuja occidentalis* seedlings grew up best in the soil treated with powder charcoal of *Pinus koraiensis* and then grew well in order of *Larix leptolepis* > particle board > *Quercus acutissima*. In case of granulated charcoal, the seedlings grew well in order of the granulated charcoal of *Larix leptolepis* > particle board > *Pinus koraiensis*. It was analyzed

* 1 접수 2006년 8월 21일, 채택 2006년 10월 11일

이 논문은 2006년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

* 2 충북대학교 농업생명환경대학 부속 학술림 Scientific Forest, College of Agriculture, Life & Environment Sciences, Chungbuk National Univ., Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea

* 3 충북대학교 농업생명환경대학 목재·종이과학 전공 Wood and Paper Science, College of Agriculture, Life & Environment Sciences, Chungbuk National Univ., Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김병로(e-mail: brkim@chungbuk.ac.kr)

that the soil porosity and the organic matter content were more in the charcoal-treated soil than the non-treated soil also. It is inferred that because the aeration property and the absorption of organic matter were increased in the root zone, the growth of seedlings was better in the charcoal-treated soil.

Keywords : charcoal, soil improvement, seedling growth, soil porosity, *Thuja occidentalis*, *Aesculus turbinata*

1. 서 론

근래에 많은 인공조림지들이 간벌기에 달해 많은 양의 간벌재가 생산되고 있으나 운반 등 경제적인 문제로 임지에서 대부분 폐기되고 있는 실정이다. 또한 목재 및 여러 가지 목질재료를 이용한 목제품이 대량으로 생산되고 있고, 이에 따라 다양한 종류의 폐기목제품도 늘어나고 있으나 이 또한 대부분 매립, 소각되고 있는 실정이다. 이러한 대규모 인공조림지에서 간벌되는 막대한 양의 간벌재와 폐기목제품 등의 목질폐잔재들은 유용한 유기물질로서 그대로 폐기처분 되는 것은 환경, 자원, 국가 경제적 측면에서 대단히 큰 손실이라고 아니 할 수 없다. 이러한 목질폐잔재를 재이용하는 방법 중 하나인 탄화처리법은 목질폐잔재의 부피와 무게의 감소효과 및 이산화탄소의 고정으로 환경적인 문제 해결뿐만 아니라, 탄화된 목탄을 여러 분야에서 이용할 수 있어 일석이조의 효과가 있을 것으로 생각된다. 따라서 최근에 김 등(1999), 공 등(2000, 2002), 이 등(2001)은 목질폐잔재들이 탄화물로서의 이용을 알아보기 위해 이들의 탄화특성, 탄화물의 물성 등에 대하여 조사하였는데, 기본적으로 탄화물로서의 이용이 가능하고 또한 탄화조건, 수종, 목질재료종류에 따라 차이가 있음을 보고하였다. 이 등(2001)은 위 연구에 기초하여 성능 면과 자원 면을 고려하여 국내조림수종과 목질재료의 탄화물을 선정, 시비하여 서양측백을 피종하고 1년간의 생장량을 조사하여, 목질폐잔재 탄화물이 토양개량제로서의 효과 및 토양에 목탄사용 시 분말상과 입상의 효과에 대해서도 함께 검토하였다. 그 결과 생장이 평균적으로 차

가 미미하였고 목탄의 종류에 따라서는 적은 성장을 보인 것도 있었으나 생장이 전반적으로 대조구에 비하여 좋았다고 보고하였다.

본 연구에서는 이 등(2001)의 조사 시 가장 생장이 좋은 시험구에서 표준이 되는 것을 각각의 탄화물을 시비한 포트에 이식하여 5년간의 생장을 통하여 목탄이 토양개량제로서의 효과 및 토양에 목탄사용 시 분말상과 입상의 효과에 대해서도 함께 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에서의 공시재료는 충북대학교 목재연료소재은행에서 분양받은 잣나무(*Pinus koraiensis*: PK), 낙엽송(*Larix leptolepis*: LL), 상수리나무(*Quercus acutissima*: QA)의 간벌재와 파티클보드(Particleboard: PB)로 이동식 급속탄화장치에서 탄화하여 이용하였다.

2.2. 시험방법

2.2.1. 탄 화

급속탄화장치(제작사: 일본이세공업소, 용량 50ℓ, 모델명: IMS-502형)에 의한 탄화는 30 cm 길이의 시료를 탄화기에 넣고 400°C로 탄화하였다. 탄화 후 탄화물은 분말(60 mesh)과 입상(크기 약 10 mm)으로 제조하였다.

2.2.2. 서양측백 및 칠엽수 성장량 실험

분말과 입상의 공시탄화물을 0.2×0.2×1(m)의 면적의 노지에 100 g씩 각각 시용한 후, 서양측백 (*Thuja occidentalis*)과 칠엽수(*Aesculus turbinata*)를 1998년 4월에 파종하였다. 이후 서양측백은 1999년 4월에 성장량(40분)을 조사하고(이 등, 2001), 이 중 표준이 되는 것 10본씩을 선발하여 밀도를 조정하여 포트에 이식하였다. 포트(0.5 × 0.15 × 0.09 m)의 토양은 5700 g이었고 여기에 각각 탄화물 50 g씩 시비하였다. 5년후 인 2004년 4월에 성장량을 조사하였다. 칠엽수는 1999년 4월에 성장량을 조사하고, 같은 노지에서 5년 후 성장량을 조사했다.

2.2.3. 토양의 물성분석(가밀도 및 공극률)

가밀도는 자연 상태의 토양에서 토양입자간의 부피뿐만 아니라 공극의 부피를 합한 부피에 대한 밀도로서 고체상, 액체상, 기체상의 3상을 포함하는 토양의 밀도이며, 공극을 포함하는 토양용적 1 ml에 해당하는 중량(g)으로 표시하였다. 실제로 100 ml 용적의 야외토양을 채취하고, 이것을 105°C로 건조시켜 건조중량을 측정하여 그 값을 100 ml로 나누어 구하였다. 공극율은 토양의 전용적(V)에 대한 틸의 용적(W) 백분율로, 공극율을 p로 하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{공극율 } P = W/V \times 100(\%)$$

2.2.4. 토양의 화학분석

토양 화학성 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology 2000)에 준하였으며 채취한 토양은 풍건 후 2 mm체에 통과된 것을 분석 시료로 하였다.

2.2.5. 토양의 보수성 측정

각 시료들을 볼에 희석시킨 후 여과지를 긴 깔대

기에 여과시켜 각 시료들의 초기 보수량을 측정한다. 여과지에 묻어있는 잔여 시료의 양을 측정해 보정해준다. 실온 상태에서 자연 건조시키며 아침, 저녁으로 보수량의 변화를 알아보고 평형상태에 이르기까지 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 성장량

Table 1은 목탄의 종류별, 형상별(분말,입상)로 시비한 포트에 1년생 서양측백을 이식한 후 5년간의 성장량을 나타낸 것이다. 목탄 시용이 뿌리길이를 제외하고는 수고, 무게, 근경 등에서 대조구보다 좋은 성장 효과를 나타냈다. 분말의 경우는 뿌리길이를 제외하고는 무처리보다 확연한 성장을 보였으나, 입상의 경우는 뿌리외에 생중량과 건조중량에서 상수리탄이 대조구보다 적은 성장을 보였으나 대부분 대조구보다 좋은 성장을 나타냈다. 탄의 종류별로는 분말탄에서는 모든 측정부위에서 잣나무탄 시비 처리구의 성장이 가장 좋았으며 다음으로 낙엽송탄, 파티클보오드탄, 상수리탄 시비 처리구순으로 나타났다. 특히 잣나무탄 시비 처리구에서는 수고 92.25 cm, 뿌리길이 35.50 cm, 무게 143.66 g, 근경 9.94 mm로 무처리구보다 약 2~3배의 높은 성장을 나타냈다. 입상탄의 경우에는 낙엽송탄 시비 처리구가 가장 성장이 좋았으며, 다음으로 파티클보오드탄, 잣나무탄 시비 처리구순으로 나타났으며 앞에서 언급했듯이 입상의 상수리탄은 생중량 및 건조중량에서는 대조구보다 적었다. 처리구간에서 분말의 경우 잣나무탄 시비처리구와 낙엽송탄 시비처리구에서 높은 성장량을 보인 것은 공 등(2002)의 국산 주요 수종 및 목질재료 탄화물의 흡착특성의 보고에서 잣나무탄과 낙엽송탄이 상수리탄과 파티클보오드탄보다 흡착량이 크고, 비표면적이 넓다고 한 것에 기인하는 것으로 생각한다. 입상의 경우 파티클보오드탄 처리구의 성장이 잣나무탄 처리구에 이어 두 번째의 성장을 보인 것은 입상시 파티클보오드가 목재

Table 1. Duncan's multiple range test for growth of *Thuja occidentalis* in the charcoal-treated soil

| Powder | | | | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Height (cm) | *PK92.25(a) | LL84.00(ab) | PB68.07(b) | QA58.40(bc) | NT46.89(c) |
| Rootstock (mm) | PK9.94(a) | LL7.77(b) | PB6.88(bc) | QA5.65(bc) | NT5.57(bc) |
| Weight (g) | PK143.66(a) | LL77.39(b) | PB60.26(bc) | QA49.56(c) | NT41.95(cd) |
| Dry Weight (g) | PK68.09(a) | LL39.59(b) | PB31.03(b) | QA25.32(bc) | NT20.97(c) |
| Root length (cm) | QA43.20(a) | NT40.02(ab) | PB39.59(ab) | PK35.50(ab) | LL33.30(b) |
| Particle | | | | | |
| Height (cm) | LL85.80(a) | PB63.08(b) | PK59.27(bc) | QA56.60(bc) | NT46.89(c) |
| Rootstock (mm) | LL8.54(a) | PB6.19(b) | QA5.92(bc) | PK5.82(bc) | NT5.57(bc) |
| Weight (g) | LL119.04(a) | PB52.54(b) | PK51.57(bc) | NT41.95(c) | QA40.62(cd) |
| Dry Weight (g) | LL60.62(a) | PB28.61(b) | PK25.86(bc) | NT20.97(c) | QA19.94(cd) |
| Root length (cm) | LL47.40(a) | PB43.58(ab) | NT40.02(b) | QA39.60(bc) | PK37.81(c) |

*See abbreviation in materials and methods, NT: Non treatment

Table 2. Difference of powder and particle according to the carbonized tree species

| Seedlings | charcoal type | LL | PK | QA | PB |
|-----------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Height | Powder | 84.00 | 92.25 | 58.40 | 68.07 |
| | Particle | 85.80 | 59.27 | 56.60 | 63.08 |
| | Level of significance | NS | ** | NS | NS |
| Rootstock | Powder | 7.77 | 9.94 | 5.65 | 6.88 |
| | Particle | 8.54 | 5.82 | 5.92 | 6.19 |
| | Level of significance | NS | ** | NS | NS |

** : Significance at 99% level, NS: Not significance at 95% level

보다는 다공구조에 의한 것으로 사료된다.

Table 2는 Table 1의 수고와 직경에 있어서 분말탄과 입상탄의 차이의 유무를 조사한 것이다. 각각의 조사 시 분말탄 시비의 수목이 입상탄 시비의 수목보다 생장이 좋게 보여 차이가 있을 것으로 예상하여 통계처리를 하였으나 결과는 Table 2와 같이 잣나무 탄만 유의차를 보였을 뿐 나머지 탄에서는 차이를 나타내지 않았다. 따라서 목탄을 토양개량재로 사용 시는 잣나무탄 외에는 제조비용이 많이 드는 분말탄으로 할 필요는 없을 것으로 생각된다. Fig. 1은 분말탄을 시비한 처리구와 무처리구의 비

교사진으로 육안으로도 성장량을 확실히 구별할 수 있다.

Table 3은 1년생 칠엽수를 목탄을 시비한 노지에 이식한 후 6년 후의 성장량을 나타낸 것으로 무처리에 비해서 목탄을 처리한 처리구의 생장이 좋았음을 알 수 있었다. 수고 성장이 가장 우수한 탄은 잣나무탄(입상)으로 178 cm, 낙엽송탄(분말)이 165.5 cm의 성장을 보여 무처리 보다 최고 60 cm의 성장을 보였다.



Fig. 1. Comparison between charcoal (podwer) treatment and non treatment in the soil for growth of *Thuja occidentalis*.

Table 3. Growth of *Aesuculus turbinata* seedling

| Charcoal kinds | Height (cm) | Diameter (mm) | | |
|----------------|-------------|---------------|-----------|-------------|
| | | Stock | 1 m upper | 1.2 m upper |
| PK (powder) | 144.5 | 29.0 | 14.2 | 9.0 |
| LL (powder) | 165.0 | 31.1 | 16.0 | 9.0 |
| PB (powder) | 155.5 | 29.4 | 14.3 | 9.0 |
| PK (particle) | 178.0 | 37.2 | 16.8 | 10.6 |
| NT | 118.5 | 22.2 | 11.1 | 6.3 |

*NT: Non-treatment

3.2. 토양의 물성분석(가밀도 및 공극률)

Table 4는 목탄시비 토양의 가밀도와 공극율을 나타낸 것이다. 토양의 밀도는 분말형태의 탄화물 시비의 경우 낙엽송탄 시험구가 0.93 g/ml, 잣나무탄 시험구가 0.91 g/ml, 상수리나무탄 시험구가 0.97 g/ml, 파티클보오드탄 시험구가 0.98 g/ml로 무처리 시험구 0.99 g/ml보다 모두 작은 것으로 나타났다. 입상형태의 탄화물 시비의 경우 낙엽송탄 시험구가 0.94 g/

ml, 잣나무탄 시험구가 0.92 g/ml, 상수리나무탄 시험구가 0.93 g/ml, 파티클보오드탄 시험구가 0.98 g/ml로 무처리 시험구 1.02 g/ml로 분말형태의 시비의 와 같이 무처리 시험구보다 작은 것으로 나타났다.

토양의 공극율은 분말형태의 탄화물 시비의 경우 낙엽송탄 시험구가 38.04%, 잣나무탄 시험구가 39.26%, 상수리나무탄 시험구가 35.60%, 파티클보오드탄 시험구가 34.62%로 무처리 시험구 33.98%보다 모두 큰 것으로 나타났다. 입상형태의 탄화물 시

Table 4. Volume density, porosity of the charcoal-treated soil

| Charcoal kinds | Volume density (g/ml) | Porosity (%) |
|----------------|-----------------------|--------------|
| LL (Powder) | 0.93 | 38.04 |
| PK (Powder) | 0.91 | 39.26 |
| QA (Powder) | 0.97 | 35.6 |
| PB (Powder) | 0.98 | 34.62 |
| NT | 0.99 | 33.98 |
| LL (Particle) | 0.94 | 37.12 |
| PK (Particle) | 0.92 | 38.76 |
| QA (Particle) | 0.93 | 40.33 |
| PB (Particle) | 0.98 | 34.39 |
| NT | 1.02 | 31.69 |

Table 5. Chemical analysis of the charcoal-treated soil

| Charcoal | pH (1:5) | OM [*] (%) | Av. PO ₃ (ppm) | (cmol ⁺ /kg) | | | EC (ds/m) | T-N (%) | NH ₄ -N (mg/kg) | CEC (cmol ⁺ /kg) |
|---------------|----------|---------------------|---------------------------|-------------------------|------|------|-----------|---------|----------------------------|-----------------------------|
| | | | | K | Ca | Mg | | | | |
| LL (Powder) | 7.2 | 1.39 | 71.46 | 0.24 | 6.72 | 1.75 | 0.45 | 0.05 | 3.29 | 7.28 |
| PK (Powder) | 7.1 | 2.27 | 79.24 | 0.32 | 6.29 | 1.63 | 0.31 | 0.05 | 3.63 | 7.16 |
| QA (Powder) | 7.5 | 2.39 | 118.89 | 0.28 | 6.96 | 1.64 | 0.42 | 0.06 | 2.54 | 6.85 |
| PB (Powder) | 7.4 | 1.69 | 57.46 | 0.18 | 6.76 | 1.66 | 0.47 | 0.10 | 1.75 | 7.05 |
| NT | 7.2 | 0.57 | 55.13 | 0.19 | 6.19 | 1.65 | 0.28 | 0.05 | 3.00 | 6.79 |
| LL (Particle) | 7.2 | 0.71 | 53.58 | 0.15 | 6.34 | 1.60 | 0.29 | 0.04 | 2.05 | 6.38 |
| PK (Particle) | 7.2 | 1.28 | 79.24 | 0.15 | 6.61 | 1.61 | 0.34 | 0.05 | 3.49 | 7.09 |
| QA (Particle) | 7.5 | 1.55 | 74.57 | 0.21 | 6.74 | 1.73 | 0.40 | 0.05 | 5.07 | 7.06 |
| PB (Particle) | 7.5 | 1.26 | 64.46 | 0.17 | 6.67 | 1.58 | 0.37 | 0.05 | 4.42 | 6.54 |
| NT | 7.3 | 0.48 | 131.33 | 0.20 | 7.22 | 1.68 | 0.57 | 0.05 | 4.91 | 6.62 |

* O.M: Organic matter

비의 경우 낙엽송탄 시험구가 37.12%, 잣나무탄 시험구가 38.76%, 상수리나무탄 시험구가 40.33%, 파티클보오드탄 시험구가 34.39%로 무처리 시험구 31.69%로 분말형태의 시비의 와 같이 무처리 시험구보다 큰 것으로 나타났다. 深澤和三 등(1992)도 목탄분의 토양에 사용할 경우 공극율이 개선되고 이에 따라 묘목의 성장량이 좋아진다고 보고하였다. 처리구 간에는 성장이 좋았던 잣나무와 낙엽송 탄화물 시비 처리구의 토양에서 가밀도가 낮고, 공극율이 큰 것으

로 나타났다. 탄화물의 시비로 인해 토양의 가밀도가 낮아지고, 공극률이 커짐에 따라 여러 유기물 및 공기의 침투 공간이 넓어져 무처리구보다 묘목의 성장이 크게 나타난 것으로 생각된다.

3.3. 토양의 화학분석

Table 5는 토양의 화학적 분석을 나타낸 것이다. 토양의 화학적 분석의 경우, 분말형태의 탄화물 시비

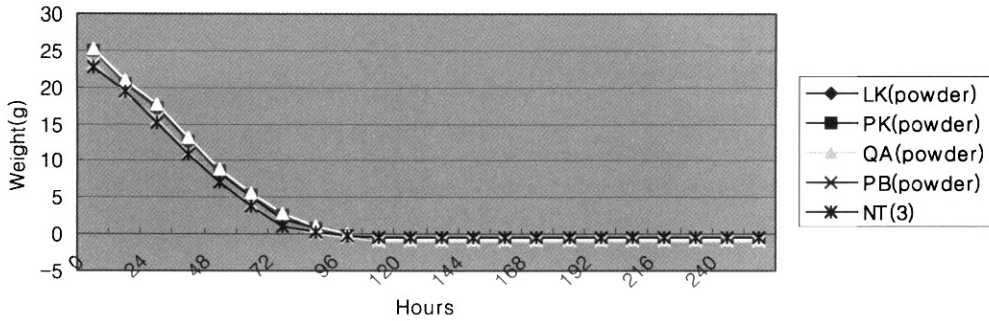


Fig. 2. Water retention of the powder charcoal-treated soil.

시험구와 입상형태의 시비 시험구에서 유기물 이외의 성분에서는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 유기물의 경우 분말형태의 탄화물 시비의 경우 낙엽송탄 시험구가 1.39%, 잣나무탄 시험구가 2.27%, 상수리나무탄 시험구가 2.39%, 파티클보오드탄 시험구가 1.69%로 무처리 시험구 0.57%로 탄화물 처리구가 약 3~5배 큰 것으로 나타났다. 입상형태의 탄화물 시비의 경우 낙엽송탄 시험구가 0.71%, 잣나무탄 시험구가 1.28%, 상수리나무탄 시험구가 1.55%, 파티클보오드탄 시험구가 1.26%으로 무처리 시험구 0.48%로 분말형태의 시비와 같이 무처리 시험구보다 큰 것으로 나타났다. 탄화물의 수종 간에는 상수리나무 탄화물의 처리구가 분말, 입상 모두에서 가장 높았고, 다음으로 잣나무 탄화물 처리구가 높은 유기물 것으로 나타났다. 탄화물의 시비로 인해 토양에 유기물이 증가하여 무처리구보다 묘목의 성장이 크게 된 원인 중에 하나가 아닌가 생각된다.

3.4. 토양의 보수성

Fig. 2는 분말탄 시비 토양의 보수성을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 보수성 측정 후 120시간 후 평행에 도달하였으며 보수성은 탄화물 시비 처리구가 무처리구보다 약간 높은 경향을 나타냈다. 초기 보수성(전체무게)은 낙엽송탄 시비구가 25.00 g, 잣나무탄 24.86 g, 상수리나무탄 25.13 g, 파티클보오드탄 23.23 g, 무처리구가 22.58 g으로 처리

구보다 낮게 나타났다. 입상탄도 비슷한 경향을 나타냈다. 이러한 보수성의 차이도 성장량에 영향을 주어 탄화물을 시비하여 보수성이 개선된 시험구에서 성장량이 좋게 나타난 것으로 생각된다.

4. 결 론

국내 조림 수종과 목질 재료의 탄화물에 대해 토양 개량제로서의 효과 및 목탄 사용시 형상(분말과 입상)에 의한 차이를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

1) 서양측백에 목탄 시비가 무처리에 비해서 성장 효과가 크게 나타났다. 탄의 종류별로는 분말탄에서는 모든 측정부위에서 잣나무탄의 성장이 가장 좋았으며 다음으로 낙엽송탄, 파티클보오드탄, 상수리탄으로 나타났다. 특히 잣나무탄은 무처리구보다 2~3 배의 높은 성장을 나타냈다. 입상탄에서는 낙엽송탄이 가장 성장이 좋았으며, 다음으로 파티클보오드탄, 잣나무탄 순으로 나타났다. 목탄의 형상(분말과 입상)에 따라서는 잣나무탄만 유의차를 보였을 뿐 나머지 탄에서는 차이를 나타내지 않았다. 칠엽수에 목탄 시비가 무처리에 비해서 성장이 좋았고, 수고 성장이 가장 우수한 탄은 잣나무탄(178 cm)으로 무처리 보다 최고 60 cm의 성장을 보였다.

2) 토양의 가밀도는 모든 목탄 처리구에서 무처리구보다 작게 나타났고, 공극률은 모든 목탄처리구에서 무처리구보다 크게 나타났다. 이는 가밀도가 작

고, 공극률이 클수록 유기물의 침투 공간이 넓어져 묘목의 성장을 돕는다는 것을 알 수 있었다.

3) 토양의 화학적 분석의 경우, 다른 성분에는 별 차이가 없었지만 유기물에서는 큰 차이가 있었다. 유기물은 무처리구는 0.57와 0.48%로 나타났고, 처리구는 0.71~2.39% 범위로 처리구가 높게 나타났다.

4) 보수성에 있어서도 처리구가 무처리구보다 높게 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김병로, 공석우. 1999. 미이용 목질폐잔재의 탄화 이용개발(Ⅰ). 목재공학 27: 70~77.
2. 공석우, 김병로. 2000. 미이용 목질폐잔재의 탄화 이용개발(Ⅱ). 목재공학 28: 57~65.
3. 이동욱, 김병로. 2001. 목질 폐잔재 탄화물의 토양개량 효과. 임산에너지 20: 1~5.
4. 공석우, 김병로. 2002. 국산 주요 수종 및 목질재료 탄화물의 흡착 특성. 목재공학 30:
5. 北海道地域技術振興センター. 1992. 木炭の秘めたパワー. 櫻井技報社. pp.83.
6. 趙伯顯, 趙成鎮, 朴天緒, 嚴大翼. 1990. 土壤學. 鄉文社. pp.396.
7. NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology), Korea. 2000. Methods of soil and plant analysis. Rural Development Administration. Suwon.