

산불 훼손 복원지 내 토양개량제 처리가 Wood stakes의 탄소 및 질소 동태에 미치는 영향

박성완^{1,2} · 백경원¹ · 변희섭³ · 김용석² · 김춘식^{1*}

¹경남과학기술대학교 산림자원학과, ²국립산림과학원 산림보전복원연구과,

³경상대학교 농업생명과학연구원 환경재료과학과

(2018년 7월 5일 접수; 2018년 9월 14일 수정; 2018년 10월 12일 수락)

Carbon and Nitrogen Dynamics of Wood Stakes as Affected by Soil Amendment Treatments in a Post-Fire Restoration Area

Seong-Wan Park^{1,2}, Gyeongwon Baek¹, Hee-Seop Byeon³,
Yong Suk Kim² and Choonsig Kim^{1*}

¹Department of Forest Resources, Gyeongsang National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

²Division of Forest Conservation and Restoration, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

³Department of Environmental Materials Science, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

(Received July 5, 2018; Revised September 14, 2018; Accepted October 12, 2018)

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the weight loss rates, carbon and nitrogen dynamics of wood stakes following soil amendment treatments (CLB: compound fertilizer + lime + biochar; LB: lime + biochar) in a post-fire restoration area, Ulsan Metropolitan city, southern Korea. Soil amendments in the fire-disturbed area were applied to two-times (Mar. and Jun. 2015, 2016) during the study period. Wood stakes on Mar. 2015 were buried at a top 15cm of mineral soil in two soil amendment and control treatments of *Liriodendron tulipifera*, *Prunus yedoensis*, *Quercus acutissima*, *Pinus thunbergii* plantations and an unplanted area in the post-fire restoration area. Wood stakes were collected at Oct. 2015, Mar. 2016 and Oct. 2016 to measure weight loss rates, organic carbon and nitrogen concentrations. Weight loss rates of wood stakes were not significantly affected by soil amendment treatments. However, remaining carbon of wood stakes were lowest in the control treatment (43.7%), followed by the CLB (71.3%) and the LB (71.6%) treatments. Remaining nitrogen of wood stakes was less in the control treatment (29.7%) compared with the LB treatment (52.6%). The results indicate that carbon and nitrogen mineralization of wood stakes in post-fire restoration area were delayed by soil amendment treatments.

Key words: Biochar, Forest fire, Nutrient dynamics, Wood nutrient, Wood decomposition



* Corresponding Author : Choonsig Kim
(ckim@gntech.ac.kr)

I. 서 론

산림생태계에 매년 발생하는 낙엽, 낙지, 고사목과 뿌리의 생육과정에서 발생하는 세균이나 고사된 뿌리는 분해과정을 통하여 토양층에 유입되고 토양 유기물로 환원되게 된다(Ulyshen *et al.*, 2017; Wambsganss *et al.*, 2017). 이러한 토양 유기물은 산림 토양의 물리적·화학적·생물학적 성질을 결정하는 중요한 요인이다(Horodecki and Jagodziński, 2017; Ulyshen *et al.*, 2017).

낙엽, 낙지, 고사목 등의 분해과정은 슈아 베기, 모두 베기, 시비 같은 산림작업에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 예를 들면 슈아 베기나 모두 베기 같은 상층 임목 제거는 낙엽이나 고사목의 분해를 촉진하거나 지연하는 것으로 알려져 있으며, 토양 수분이나 광요인의 변화가 분해 정도를 결정하는 원인으로 제시된 바 있다(Bravo-Oviedo *et al.*, 2017). 시비를 통한 토양 양분 공급도 낙엽 낙지 분해과정에 영향을 미쳐, 질소질 비료를 시비한 경우 C/N율의 변화와 함께 낙엽 분해가 지연되는 경향을 보였다(Tu *et al.*, 2014).

산불이나 산림 병해충 같은 산림 교란의 경우 지상부 임목의 전체 또는 일부가 제거되고 광유입의 증가에 따라 토양온도가 상승하거나 증산 손실 감소에 따른 토양수분 증가 등 임 내 환경의 급격한 변화가 발생하게 된다(Kim *et al.*, 2014; Jeong *et al.*, 2017). 특히 산불 훼손지의 경우 지상부 임목 및 임상(forest floor)의 소실에 따라 토양층에 공급되는 유기물의 양이 상당기간 동안 감소하는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2014). 그 결과 산불 훼손지의 식생 복원을 위해 식재된 소나무 묘목의 경우 토양개량제 처리에 따라 수고 및 근원경의 유의적인 성장 증가가 관찰되었고(Kim *et al.*, 2014), 활엽수류의 경우 잎 내 양분환경이 개선되는 효과가 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 2015).

임분 종류나 산림 교란 정도에 따른 토양층 내 유기물 분해의 직접적인 측정은 낙엽, 낙지, 목질부 등을 이용할 경우 리그닌 함량이나 C/N율 등과 같은 기질 특성에 따라 분해율에 차이가 발생하기 때문에(Yatskov *et al.*, 2003; Jurgensen *et al.*, 2006; Risch *et al.*, 2013), 셀룰로오스가 포함된 여과지 등을 매설하여 상대적인 분해율을 비교하기도 한다(Kim, 2000; Drewnik, 2006). 그러나 셀룰로오스 여과지의 경우 1년 이내의 단기간에 완전히 분해되거나(Kim, 2000),

리그닌이 포함되지 않았다는 문제점이 있다. 최근 이러한 점을 해결하기 위해 토양층 내 wood stakes 등을 매설하여 침엽수 임분과 활엽수 임분의 wood stakes 분해율 비교(Wang *et al.*, 2007; Risch *et al.*, 2013), 고사목의 상대적인 분해율을 조사하기 위해 wood stakes 등을 이용하는 연구가 수행된 바 있다(Finér *et al.*, 2016). 또한 wood stake는 토양환경의 생물적, 비생물적 변화를 평가 할 수 있는 상대적인 지표로도 이용되고 있다(Risch *et al.*, 2013)

산불 훼손지의 경우 경제수나 경관조림을 위해 다양한 수종이 식재되고 있으며, 신속한 복원을 위해 복합비료나 석회 등을 이용한 토양개량제의 필요성이 증가하고 있다(Kim *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2015). 그러나 토양개량제가 산불 훼손지의 토양층 내 유기물 분해 및 양분 동태에 미치는 영향에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. 본 연구는 산불 훼손지 내 식생복원지를 대상으로, 토양개량제가 토양층에 매설된 wood stakes의 분해율과 분해과정 동안 탄소 및 질소 동태에 미치는 효과를 알아보기 위하여 실시하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 일반 현황

본 연구는 울산광역시 동구에 위치한 봉대산을 대상으로 하였으며, 이 지역은 2003년부터 2011년 사이 산불이 빈번히 발생한 지역이다(Kim *et al.*, 2015). 기상요인으로 이 지역의 최근 30년 동안 평균 기온은 14.1°C, 평균 강수량은 1,277mm이며 여름철에 강수량이 많은 지역이다(KMA, 2011). 현장조사 결과 이 지역의 산림 토양은 화강암을 모재로 생성된 갈색건조 산림토양형(B₁)과 갈색약건산림토양형(B₂)이 분포하며, 토양 단면 층위 발달이 빈약하고 전 토심은 20~30cm 범위였다.

조사지는 2008년 봄 방화에 의해 산불이 발생하였으며, 2009년 봄 툄립나무, 왕벚나무, 상수리나무, 곰솔 등의 1-1년생 묘목을 식재하였다(Fig. 1). 조사지 중 왕벚나무(35°32'26.48" N, 129°26'16.22" E, 해발고 121m)와 상수리나무 조림지(35°32'14.09" N, 125°26'15.15" E, 해발고: 118m)는 서향 또는 남동향으로 10° 미만 완경사 지역이며, 툄립나무 조림지(35°32'21.02" N, 129°26'12.47" E, 해발고: 106m)는 북향의 경사 15~20° 정도 지역이다. 툄립나무와 왕벚나무 조림지의 경우 산딸기나무, 미국자리

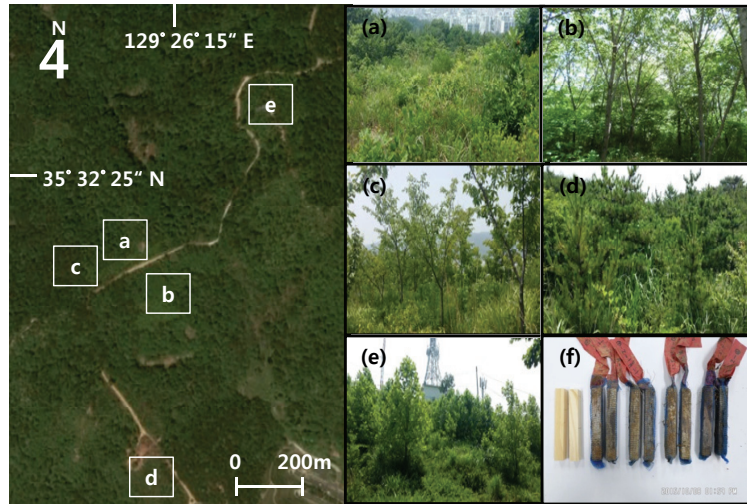


Fig. 1. Location of the study site in a post-fire restoration area of Mt. Bongdaesan (a: Unplanted area; b: *Prunus yedoensis* plantation; c: *Quercus acutissima* plantation; d: *Pinus thunbergii* plantation; e: *Liriodendron tulipifera* plantation; f: wood stakes after seven month's incubation at top 15cm soil).

공, 청미래덩굴 등 하층식생 밀도가 높았고, 상수리나무 조림지는 하층식생이 빈약하며 아까시나무나 청미래덩굴이 분포하였다. 곰솔 조림지(35°32'18.27" N, 125°26'21.32" E, 해발고: 97m)의 경우 경사 10° 미만의 완경사지에 청미래덩굴이 우점하며 하층식생 밀도가 높았다(Fig. 1). 미복원지(35° 32'14.09" N, 125° 26'22.98" E, 해발고 80m)의 경우 산불 발생 후 인위적으로 식재하지 않은 자연복원 지역으로 경사 15°의 남서사면에 위치하며 아까시나무, 싸리류, 청미래덩굴이 우점하였다(Fig. 1a).

2.2. 토양개량제 처리

임목 식재지 및 미복원지를 대상으로 토양개량제 2처리(CLB: 복합비료 + 석회 + biochar; LB: 석회 + biochar)와 대조구(C: control)를 위한 5m × 5m 크기의 조사구를 1m 폭의 완충지대와 함께 2반복으로 설계하였다. 본 연구에서 토양개량제 처리는 총 2회 실시하였으며, 석회(4kg) 처리는 2015년 3월 27일과 2016년 3월 25일, 복합비료(요소 0.6kg + 용과린 2kg + 염화加里 0.3kg)는 2015년 6월 17일과 2016년 6월 15일 각 조사구 내 골고루 살포되도록 표면 시비하였다. 복합비료 및 석회 시비량은 우리나라 소나무 산불 발생지의 복합비료 시비량(Kim *et al.*, 2014)과 토양

산성화 개량을 위한 도시지역 석회 시비량(Yoo *et al.*, 1998)을 참조하였다. 각 처리구 토양개량제에는 biochar의 일종인 입상용 목초탄(강원목초™) 2.5kg을 혼합하여 시비하였으며, 토양개량제에 biochar의 첨가는 비료의 효과를 증진하는 것으로 알려져 있다(Jeong *et al.*, 2017). 임분 현황 조사는 2015년 10월 실시되었으며, 각 처리구의 임목밀도는 CLB 처리구가 대조구와 LB 처리구에 비해 낮았으나, 평균 흉고직경 및 수고는 CLB 처리구가 가장 높은 것으로 나타났다(Table 1)

Table 1. Stand characteristics in soil amendment treatment plots of a post-fire restoration area

Treatment	Tree density (trees ha ⁻¹)	DBH* (cm)	Height (m)
Control (C)	1,650 (124)	6.09 (0.78)	4.41 (0.47)
Compound fertilizers + Lime + Biochar (CLB)	1,200 (140)	7.76 (0.80)	4.95 (0.61)
Lime + Biochar (LB)	1,700 (100)	6.50 (0.61)	4.44 (0.39)

*DBH: diameter at breast height (1.2m). Standard errors in parentheses.

2.3. Wood stakes 매설 및 분해율 조사

각 처리구에 매설될 wood stakes는 소나무 번재부를 이용하여 제작하였다[2cm(R) × 2cm(T) × 15cm(L)]. Wood stakes는 토양층에 매설 전 65°C 건조기에서 일주일 동안 건조 후 무게를 측정하였다. 건조한 wood stakes는 분해과정 동안 시료 손실을 최소화하기 위하여 1mm × 1mm 크기의 나이론 소재 그물망에 포장한 후 2015년 3월 27일 토양층 0~15cm 부위에 수직으로 매설하였다. Wood stakes는 매설 약 7개월 후인 10월 9일, 12개월 후인 2016년 3월 25일, 19개월 후인 2016년 10월 8일에 각 조사구로부터 1개씩 수거하였다. 각 조사구부터 수거한 wood stakes는 지퍼 백에 밀봉하고 실험실로 운반하였으며, 65°C 건조기에서 48시간 이상 향량에 도달할 때까지 건조하였다. Wood stakes의 분해율은 초기 매설 당시 건중량과 65°C 건조 후 건중량을 이용하여 계산하였다. 건중량 측정 후 wood stakes 시료는 분쇄기로 파쇄하고 40-mesh 체를 이용하여 분석용 시료를 조제하였으며, 탄소 및 질소 농도는 원소분석기(Thermo Scientific, Flash 2000, Italy)로 측정하였다.

Wood stakes의 분해에 영향을 미치는 토양환경요인이 경우 토양 탄소와 질소 농도, 토양 호흡량, 토양 온도, 토양 pH, 토양 EC, 토양 수분 함량을 2015년 10월, 2016년 3월과 10월 등 총 3회에 걸쳐 조사하였다. 토양 분석용 시료는 토심 10cm 부위를 대상으로 토양채취기(Oakfield soil core sampler)로 채취하였으며, 채취된 토양은 지퍼 백에 밀봉하여 실험실로 운반하고 음건하였다. 건조된 토양은 2mm 체로 분석용 시료를 조제하고, 유기탄소와 전질소는 대용량 원소분석기(Vario Macro cube, Germany)로 측정하였다. 토양 pH는 토양 시료와 증류수를 1:5의 비율로 혼합하여 30분간 진탕 후 이온전극(Istec 735-p, Korea), EC의 경우 EC 메타(Orion 3 Star conductivity, Singapore), 토양 호흡량은 EGM-4(PP systems, UK)로 측정하였다.

2.4. 자료 분석

수집된 자료 중 토양특성 변화의 경우 SAS의 혼합모형(Proc mixed)으로 조사 시기별 토양개량제 처리 간 차이를 검정하였으며, 분석 시 토양개량제 처리는 고정요인 효과(fixed effect), 식재수종과 미복원지는 임의요인 효과(random effect)로 고려하였다. Wood

stakes 분해율, 탄소 및 질소 농도와 잔존율의 경우는 repeated measurement ANOVA로 유의성을 검정하였다($P < 0.05$). 분산분석 결과 처리 간 유의성이 인정되는 경우 Tukey 방법을 이용하여 처리 평균의 차이를 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 토양 특성

토양개량제 처리에 따른 토양 수분함량 및 토양 온도의 경우 3회의 조사기간 동안 유의적인 차이($P > 0.05$)가 없었다(Table 2). 평균 토양 수분함량 경우 대조구는 CLB 처리구에 비해 높은 값을 보이나 처리 간 유의적인 차이는 없었다(Fig. 2a and Fig. 2b). 토양 pH는 조사기간 동안 LB처리구가 타처리구에 비해 지속적으로 높았으며(Fig. 2c), 평균 토양 pH의 경우 LB처리구는 pH 4.95로 CLB처리구 pH 4.72와 유의적인 차이가 있었다. LB처리구의 높은 토양 pH는 석회 시비 후 염기성 양이온인 칼슘의 토양 내 유입 증가가 원인으로 사료된다(Weil and Brady, 2017). 그러나 CLB 처리구의 낮은 pH는 복합비료 내 질소질 비료인 요소의 토양 미생물에 의한 산화과정에서 발생하는 수소이온(H^+) 증가가 원인으로(Weil and Brady, 2017) 알려져 있다. 본 연구 결과는 질소를 포함하는 복합비료 내 칼슘과 마그네슘 성분 첨가는 도시지역 토양산성화 임지의 토양 pH 교정에 큰 효과가 없다는 결과와 일치한다(Yoo *et al.*, 1998). 또한 LB처리구와 대조구의 토양 pH에 유의적인 차이가 없는 것은 울산지역이 공단지역으로 산성화 물질 등의 유입에 의해 토양 pH 상승이 크지 않았을 가능성이 있다(Yoo *et al.*, 2002).

토양 EC(Fig. 2d)와 유효인산(Fig. 2g)의 경우 토양개량제 처리에 따라 유의적인 차이($P < 0.05$)가 나타났으며, CLB처리구가 대조구에 비해 높아 시비 효과가 뚜렷하였다(Fig. 2). 예를 들면 평균 유효인산의 경우 CLB처리구가 54.0mg kg^{-1} 로, 대조구 7.3mg kg^{-1} , LB처리구 6.4mg kg^{-1} 에 비해 유의적으로 높았으며, 이는 복합비료에 포함된 인산질 비료의 토양 잔류 효과로 사료된다(Weil and Brady, 2017). 그러나 토양 유기탄소(Fig. 2e) 및 질소 농도(Fig. 2f)의 경우 토양개량제 처리에 따른 유의적인 차이($P > 0.05$)는 없었다(Table 2). 토양 호흡량의 경우 2015년 10월 대조구 ($0.74\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)가 CLB처리구($1.0\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)

Table 2. *P*-value of soil property changes following soil amendment treatments in a post-fire restoration area

Variable	Sampling time			Mean
	Oct. 2015	Mar. 2016	Oct. 2016	
Soil temperature	0.4355	0.0675	0.2963	0.9973
Soil water content	0.1982	0.1254	0.8586	0.1025
Soil pH	0.0182	0.6379	0.1468	0.0140
Soil EC	0.0027	0.0003	0.0016	0.0001
Organic carbon	0.7783	0.1499	0.9874	0.4124
Total nitrogen	0.3637	0.1137	0.7083	0.2520
Available phosphorus	<0.0001	<0.0001	0.0035	<0.0001
Soil CO ₂ efflux rates	0.0527	0.1400	0.2136	0.2513

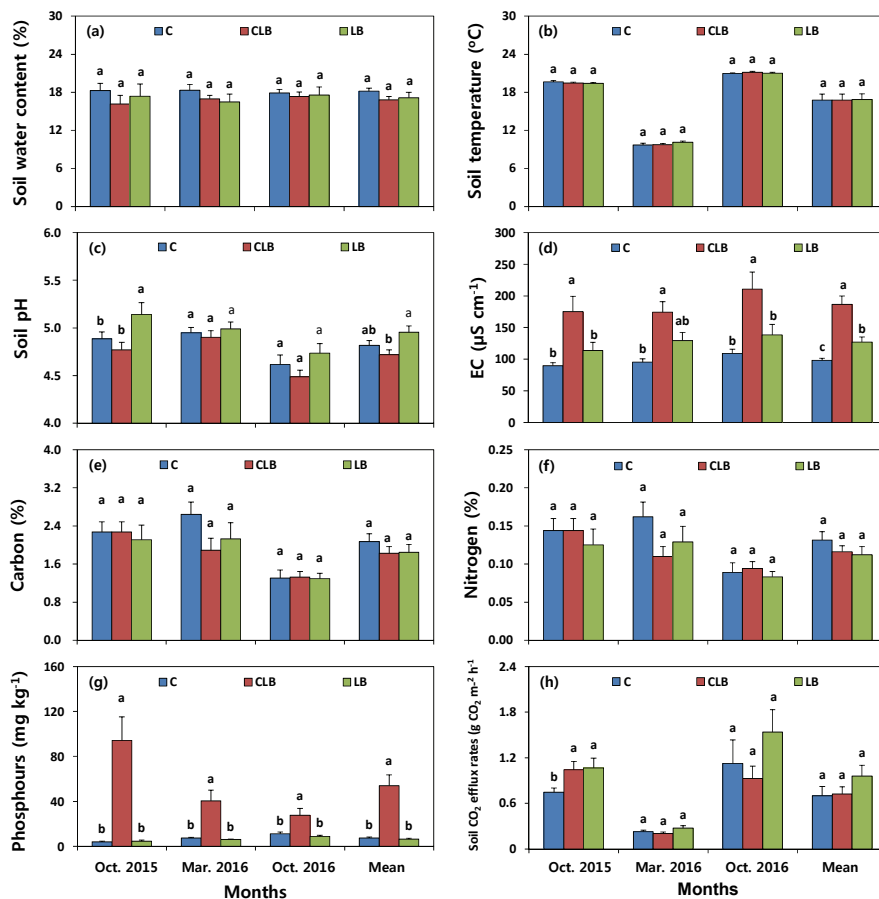


Fig. 2. Soil property changes (a: soil water content; b: soil temperature; c: soil pH; d: soil EC; e: organic carbon; f: total nitrogen; g: available phosphorus; h: soil CO₂ efflux rates) following soil amendment treatments (C: Control, CLB: Compound fertilizers + Lime + Biochar, LB: Lime + Biochar) in a post-fire restoration area. Vertical bars represent one standard error. The same letters among treatments in each sampling time indicate no significant difference at $P < 0.05$.

나 LB처리구($1.0\text{g CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ h}^{-1}$)에 비해 유의적으로 낮은 호흡량을 보였으나, 조사기간 동안 평균 토양 호흡량의 경우(Fig. 2h) 토양개량제 처리구와 대조구 사이에 차이($P > 0.05$)는 없었다(Fig. 2). 산림지역에 시비 처리 후 토양 호흡량은 무시비구에 비해 감소하거나 변화가 없는 등 다양한 결과가 보고되고 있으며(Jeong *et al.*, 2016), 본 연구 결과도 산불 훼손지에 식생복원을 위한 석회나 복합비료 등의 처리는 토양 호흡량에 미치는 영향이 크지 않았다.

3.2. Wood stakes의 분해율

Wood stakes 매설 약 19개월 후(2016년 10월) 조사된 잔존율(Fig. 3a) 대조구(44.9%), CLB처리구(72.2%), LB처리구(65.5%) 순으로 대조구가 토양개량제 처리구에 비해 분해율이 높았으나 유의적인 차이는 없었다($P > 0.05$). 토양층에 매설된 wood stakes 분해율의 경우 토양 온도, 토양 수분, 토양 비옥도, 방위나 경사 등과 같은 비생물적 요인뿐만 아니라 토양 생물과 미생물의 풍부도 같은 생물적 요인 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Weedon *et al.*, 2009; Finér *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2018). 그러나 wood stakes의 분해에 가장 기여도가 높은 토양 환경요인은 토양 온도 및 토양 수분 등이며(Jurgensen *et al.*, 2006), 토양 온도가 높고 적절한 토양 수분 상태 유지하는 wood stakes의 분해를 촉진하는 가장 중요한 환경요인으로 알려져 있다(Finér *et al.*, 2016). 본 연구에서 wood stakes 분해에 가장 크게 기여할 토양 수분 및 토양 온도의 경우 조사기간 동안 처리 간 유의적인 차이가 나타나지 않아(Fig. 2a and Fig. 2b), wood stakes 분해율에 처리간 유의적 차이가 없는 결과와 일치하고 있다.

3.3. Wood stakes의 탄소 및 질소 동태

반복측정 분산분석에 의한 wood stakes의 유기 탄소(Fig. 3b) 및 질소 농도(Fig. 3c)와 C/N율(Fig. 3d)의 경우 토양개량제 처리구와 대조구 사이에 유의적인 차이($P > 0.05$)가 없었다. 토양층 내 목질부 분해의 경우 분해가 진행되는 동안 물리적, 화학적 파편화(fragmentation)가 발생하고 용탈이나 호흡 등에 의한 무기화(mineralization)율의 증가로 인하여 유기 탄소나 질소 농도의 변동이 크게 나타나는 것으로 알려져 있다(Chao *et al.*, 2017). 본 연구에서도 wood stakes

의 채취시기별 유기 탄소 및 질소 농도의 변동이 처리 간 크게 나타나고 있으나, 2016년 10월에 관찰된 CLB 처리구와 LB처리구 내 wood stakes의 높은 유기 탄소 농도와 낮은 질소 농도는 wood stakes의 잔존율이 타 처리구에 비해 높았기 때문으로 사료된다. 본 연구에서 나타난 wood stakes의 분해과정 동안 유기 탄소 및 질소 농도 변화와 wood stakes 잔존율과의 관계는 미국 테다소나무 조림지의 wood residue(Ulyshen *et al.*, 2017)나 북유럽의 침엽수림에 매설된 wood stakes의 분해과정(Jurgensen *et al.*, 2006)에서 나타난 결과와 유사하였다.

Wood stakes 분해율과 양분농도를 이용하여 계산된 wood stakes 매설 약 19개월 후(2016년 10월) 평균 유기 탄소 잔존율은 대조구(43.7%), CLB처리구(71.3%), LB처리구(71.6%) 순으로 대조구가 유의적으로 낮으며(Fig. 3e), 평균 질소 잔존율의 경우도 대조구(29.7%), CLB처리구(48.8%), LB처리구(52.6%) 순으로(Fig. 3f) 처리 간 유의적인 차이($P < 0.05$)가 있었다. 조사기간 동안 wood stake 분해율이 낮았던 토양개량제 처리구의 wood stakes는 높은 유기 탄소 및 질소 잔존율을 보였고, 높은 wood stake 분해율을 보인 대조구는 낮은 유기 탄소 및 질소 잔존율을 보였다. 시비에 의한 토양층내 질소 농도의 증가는 리그닌 분해 효소 활성을 억제하여 낙엽나지 분해를 감소를 초래하는 것으로 알려져 있으며(Tu *et al.*, 2014), 본 연구에서도 질소질 비료가 투입되었던 CLB처리구 내 높은 wood stakes 잔존율의 결과와 일치한다. 조사기간 동안 wood stakes의 유기 탄소 및 질소 잔존율의 경우 매설 초기 값에 비해 낮은 값을 보이고 있어서 분해과정 동안 용탈이나 무기화가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 2016년 10월에 채취한 wood stakes의 유기 탄소 및 질소 잔존율은 토양개량제 처리구가 대조구에 비해 각 27%에서 18%로 높아 토양 개량제 처리는 wood stakes의 유기 탄소 및 질소 무기화를 지연시키는 것으로 사료된다. 이는 대조구에 비해 토양개량제 처리구 wood stakes의 낮은 분해율 및 낮은 질소농도와 높은 유기 탄소농도가 복합적으로 기여하는 것으로 사료된다.

IV. 결 론

Wood stakes의 분해율과 분해율에 기여하는 중요한 환경요인인 토양 온도와 토양 수분함량은 토양개량

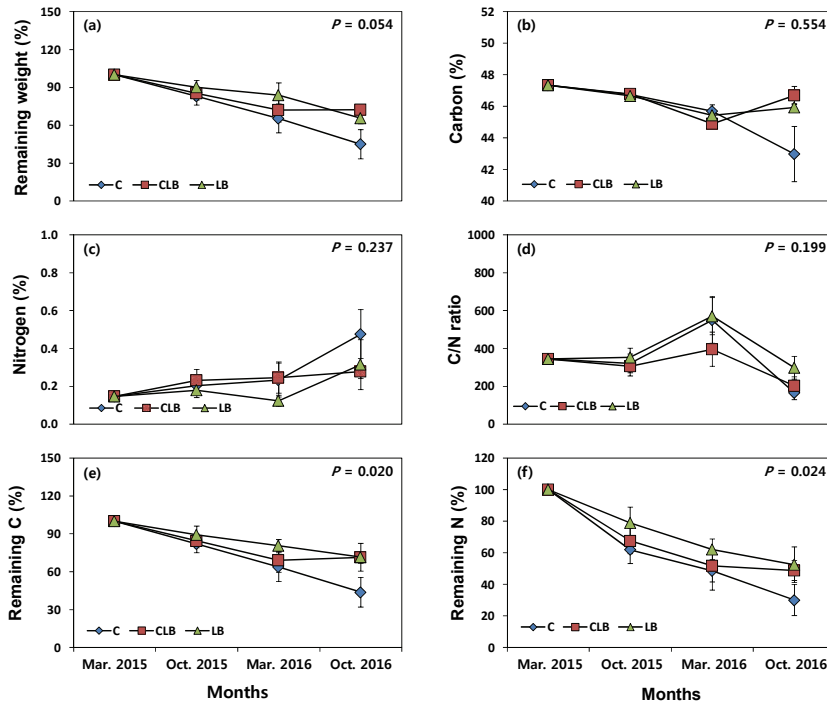


Fig. 3. Remaining weight (a), carbon (b) and nitrogen (c) concentration, C/N ratio (d), remaining carbon (e) and nitrogen (f) of wood stakes following soil amendment treatments (C: Control, CLB: Compound fertilizers + Lime + Biochar, LB: Lime + Biochar) in a post-fire restoration area. Vertical bars represent one standard error.

제 처리구와 대조구 사이에 유의적인 차이는 없었다. 또한 wood stakes의 유기 탄소 및 질소 농도 변화는 토양개량제 영향이 크지 않았으나, 일반적으로 wood stakes의 분해율이 높은 경우 질소 농도도 높게 나타났다. 유기 탄소 및 질소 잔존율은 wood stakes의 분해율과 관련 있었으며, 토양개량제 처리구가 대조구에 비해 높은 유기 탄소 및 질소 잔존율을 보였다. 그러나 19개월 조사기간 동안 대조구는 약 55%, 토양개량제 처리구의 경우 27%에서 34% 정도로 낮은 분해율을 보여, 추후 wood stakes의 양분 동태 조사는 장기적인 관찰이 필요한 것으로 나타났다.

적 요

본 연구는 울산광역시 봉대산 산불 훼손 복원지를 대상으로 토양개량제 처리가 토양층에 매설된 wood stakes의 분해율과 유기 탄소 및 질소 동태에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다. 산불 훼손 복원지에 식재된 튼린나무, 상수리나무, 왕벚나무, 곰솔 조

림지와 미복원지를 대상으로 2015년 3월 토양 0~15cm 깊이에 wood stakes를 매설한 후, 2년 동안 각 1회씩 토양개량제(CLB: 복합비료 + 석회 + 목탄 처리구; LB: 석회 + 목탄 처리구)를 처리하고, 2015년 10월, 2016년 3월, 2016년 10월 채취하여 분해율과 유기 탄소 및 질소 농도를 조사하였다. Wood stakes 분해율의 경우 토양개량제 처리구와 대조구 사이에 유의적인 차이는 없었으나, 유기 탄소 잔존율의 경우 대조구(43.7%), CLB처리구(71.3%), LB처리구(71.6%) 순으로 토양개량제 처리구의 탄소 무기화가 대조구에 비해 낮게 나타났다. Wood stakes 내 질소 잔존율의 경우도 대조구가 29.7%로 LB처리구 52.6%에 비해 낮아 탄소 무기화율과 유사한 경향을 보였다. 본 연구결과에 따르면 산불 훼손 복원지에 토양개량제 처리는 wood stakes의 탄소 및 질소 무기화를 지연하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문에 대한 세밀한 심사를 해주신 심사자 분들께 감사드립니다. 본 연구는 산림청 산림과학기술연구지원사업 중 “훼손지 산림생태복원 연구사업(Project No. S211212 L030320)”의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Bravo-Oviedo, A., R. Ruiz-Peinado, R. Onrubia, and M. del Río, 2017: Thinning alters the early-decomposition rate and nutrient immobilization-release pattern of foliar litter in Mediterranean oak-pine mixed stand. *Forest Ecology and Management* **391**, 309-320.
- Chao, K. J., Y. S. Chen, G. M. Song, Y. M. Chang, C. R. Sheue, O. L. Phillips, and C. F. Hsieh, 2017: Carbon concentration declines with decay class in tropical forest woody debris. *Forest Ecology and Management* **391**, 75-85.
- Drewnik, M., 2006: The effect of environmental conditions on the decomposition rate of cellulose in mountain soils. *Geoderma* **132**, 116-130.
- Finér, L., M. F. Jurgensen, M. Palviainen, S. Piirainen, and D. S. Page-Dumroese, 2016: Does clear-cut harvesting accelerate initial wood decomposition? A five-year study with standard wood material. *Forest Ecology and Management* **372**, 10-18.
- Horodecki, P., and A. M. Jagodziński, 2017: Tree species effects on litter decomposition in pure stands on afforested post-mining sites. *Forest Ecology and Management* **406**, 1-11.
- Jeong, J., N. Bolan, and C. Kim, 2016: Heterotrophic soil respiration affected by compound fertilizer types in red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) stands of Korea. *Forests* **7**, 309pp.
- Jeong, J., C. G. Jo, G. W. Baek, J. H. Park, H. S. Ma, B. O. Yoo, and C. Kim, 2017: Soil and the foliage nutrient status following soil amendment applications in a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endlicher) plantation. *Journal of Sustainable Forestry* **36**(3), 289-303.
- Jurgensen, M., D. Reed, D. S. Page-Dumroese, P. Laks, A. Collins, G. Mroz, and M. Degórski, 2006: Wood strength loss as a measure of decomposition in northern forest mineral soil. *European Journal of Soil Biology* **42**(1), 23-31.
- Kim, C., 2000: Canopy cover effects on cellulose decomposition in oak and pine stands. *Journal of Forest Research* **5**, 145-149.
- Kim, Y. S., J. K. Byun, C. Kim, B. B. Park, Y. K. Kim, and S. W. Bae, 2014: Growth response of *Pinus densiflora* seedlings to different fertilizer compound ratios in a recently burned area in the eastern coast of Korea. *Landscape Ecological and Engineering* **10**, 241-247.
- Kim, C., J. Jeong, J. H. Park, and H. S. Ma, 2015: Growth and nutrient status of foliage as affected by tree species and fertilization in a fire-disturbed urban forest. *Forests* **6**(6), 2199-2213.
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2011: *Climatological Normals of Korea*. 679pp.
- Risch, A. C., M. F. Jurgensen, D. S. Page-Dumroese, and M. Schütz, 2013: Initial turnover rates of two standard wood substrates following land-use change in subalpine ecosystem in the Swiss Alps. *Canadian Journal of Forest Research* **43**(10), 901-910.
- Tu, L., L. Hu, G. Chen, Y. Peng, Y. Xiao, T. Hu, J. Zhang, X. Li, and Y. Tang, 2014: Nitrogen addition significantly affects forest litter decomposition under high levels of ambient nitrogen deposition. *PlosOne* **9**, e88752.
- Ulyshen, M. D., R. Shefferson, S. Horn, M. K. Taylor, B. Bush, C. Brownie, S. Seibold, and M. S. Strickland, 2017: Below-and above-ground effects of deadwood and termites in plantation forests. *Ecosphere* **8**(8), e01910.
- Wambsganss, J., K. P. Stutz, and F. Lang, 2017: European beech deadwood can increase soil organic carbon sequestration in forest topsoils. *Forest Ecology and Management* **405**, 200-209.
- Wang, X., D. S. Page-Dumroese, M. F. Jurgensen, and R. J. Ross, 2007: Field assessment of wood stake decomposition in forest soil. *Holzforschung* **61**(5), 605-610.
- Weedon, J. T., W. K. Cornwell, J. H. C. Cornelissen, A. E. Zanne, C. Wirth, and D. A. Coomes, 2009: Global meta-analysis of wood decomposition rates: a role for trait variation among tree species? *Ecology Letters* **12**(1), 45-56.
- Weil, R. R., and N. C. Brady. 2017: *The Nature and Properties of Soils*. Pearson, USA.
- Wu, C., Z. Zhang, H. Wang, C. Li, Q. Mo, and Y. Liu, 2018: Photodegradation accelerates coarse woody debris decomposition in subtropical Chinese forests. *Forest Ecology and Management* **409**,

- 225-232.
- Yatskov, M., M. E. Harmon, and O. N. Krankina, 2003: A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. *Canadian Journal of Forest Research* **33**(7), 1211-1226.
- Yoo, J. H., J. K. Byun, C. Kim, C. H. Lee, Y. K. Kim, and W. K. Lee, 1998: Effects of lime, magnesium sulfate, and compound fertilizers on soil chemical properties of acidified forest soils. *Journal of Korean Forestry Society* **87**(3), 341-346.
- Yoo, J. H., M. J. Yi, Y. K. Kim, C. H. lee, J. K. Byun, S. W. Lee, and C. Kim, 2002: Throughfall and stemflow chemistry of coniferous and deciduous stands in Seoul, Ulsan and Hongcheon regions. *Journal of Korean Forestry Society* **91**(1), 102-110.