

국립공원 특별보호구 지정이 훼손 탐방로 주변 토양과 식생피도에 미치는 영향

김동환¹ · 이동호¹ · 김현석^{1,2,3,4} · 김성일^{1*}

¹서울대학교 산림과학부, ²서울대학교 국가농림기상센터,
³서울대학교 농업생명과학연구원, ⁴서울대학교 농림기상학전공

Effects of Special Protection Area Designation on Soil Properties and Vegetation Coverage of Degraded Trails

Dong-Hwan Kim¹, Dong-Ho Lee¹, Hyun Seok Kim^{1,2,3,4} and Seong-il Kim^{1*}

¹Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²National Center for AgroMeteorology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

³Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

⁴Interdisciplinary Program in Agricultural and Forest Meteorology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

요약: 본 연구는 훼손지에 적용된 국립공원 특별보호구 제도가 탐방로의 토양과 식생에 미치는 효과를 확인하기 위해 실시되었다. 북한산 국립공원 내 일반 탐방로(개방 탐방로)와 특별보호구로 지정되어 16년 동안 출입이 금지된 탐방로(폐쇄 탐방로)의 토양의 용적밀도, 수분, 총 질소, pH, 유기물 함량을 측정하고, 지면피도를 조사하여 개방 탐방로와 폐쇄탐방로의 토양 및 식생상태를 비교분석하였다. 일반 탐방로의 토양은 탐방로 주변 식생지대의 토양에 비하여 용적밀도가 증가하고 수분과 총 질소, 유기물 함량이 감소하여 훼손을 확인하였으나, 폐쇄 탐방로의 경우, 토양의 용적밀도, 수분, 총 질소, pH, 유기물 함량이 주변 식생지대와 유의한 차이가 나타나지 않아 탐방로 폐쇄로 인한 생태적 회복을 확인하였다. 지면피도의 경우, 일반 탐방로에서 지면식생과 낙엽의 피도가 낮고 나지와 암석의 피도가 높아 훼손을 확인하였으나, 폐쇄 탐방로에서는 낙엽·암석·나지 피도가 회복되었고, 식생피도는 산림 환경피해도 등급을 적용하였을 때 제한적인 회복이 이루어진 것으로 나타났다. 이 연구를 통하여 특별보호구 지정을 통해 훼손지의 회복이 가능하나, 토양이 식생에 비하여 더 빠르게 회복됨을 알 수 있었다. 훼손지의 특별보호구 지정은 대상지의 회복특성에 대한 과학적 근거를 기반으로 판단할 필요가 있으며, 특별보호구 제도의 효과성을 높이기 위해 대상지의 생태적·사회적 가치와 중요성을 고려한 세분화된 특별보호구 선정 및 관리 기준이 필요하다.

Abstract: This study was conducted to evaluate how the special protection area designations of degraded trails effect on the soil and vegetation recovery of degraded trails. The study areas were established on an opened trail and a 16-year closed trail, which was prohibited to enter after the designation as a special protection area for recovery, at Bukhansan National Park. Soil core sampling and measurements of vegetation cover were performed to compare soil and vegetation properties of the trails. Soil bulk density increased and soil water·total nitrogen decreased on the opened trail, while no significant differences were found on bulk density, soil water, total nitrogen, acidity, and organic matter on the closed trail. On the opened trail, vegetation cover was seemed to be degraded, because vegetation·litter cover ratio was low and barren·rock cover ratio was high. On the closed trail, litter·rock·barren cover ratio of the closed trail was recovered, but only limited recovery was found on vegetation cover by applying environmental damage condition rating class. In conclusion, the closed trail was recovered by designation of special protection area, while difference in recovery progress of soil and vegetation was found. Therefore, designation of special protection area of degraded area should be based on scientific basis of recovery characteristics of the area. In order to improve the effectiveness of special protection area system, further specific standards for special protection area designation and management would be needed, considering ecological and social importance of target areas.

Key words: special protection area, national park, management effectiveness, degraded trail, recovery

*Corresponding author
E-mail: seongil@snu.ac.kr

서론

우리나라 국립공원 탐방객은 2007년 국립공원 입장료 폐지 이후 전년 대비 53%가 증가하여 3,800만 명에 이르렀으며, 2013년에는 4,700만 명에 달하였다(KNPS, 2014). 수도권에 인접한 북한산 국립공원의 경우, 1999년에 이미 최대수용능력인 60만 명을 초과한 450만 명이 방문하였으며 입장료 폐지 이후에는 탐방객 수가 2배 이상 증가한 1,000만 여명이 매년 방문하여 탐방로 및 주변부의 훼손이 심각한 것으로 조사되고 있다(KNPS, 2001; 2009).

탐방로 및 주변부 훼손을 막기 위한 해결책의 일환으로 국립공원관리공단은 1991년부터 탐방객의 출입을 금지하는 자연휴식년제를 시행하였다. 2007년에는 2006년부터 시행된 제6기 자연휴식년제에 멸종위기종 분포지역 등 서식지 보호가 필요한 지역을 추가하고, 보호 목적을 중심으로 대상지를 재분류·체계화하여 「국립공원 특별보호구」를 지정하였다. 국립공원 특별보호구의 유형은 식물군락지, 동물서식지, 습지, 계곡, 훼손지로 구분되는데, 지정기간이 5년으로 적용되는 훼손지를 제외한 모든 지역은 20년간 적용되며 연장이 가능하다(ME, 2006).

국립공원 특별보호구의 연장 지정이 공원 내 자연환경의 보전에 긍정적 평가를 받는 반면, 탐방로 폐쇄가 장기화됨에 따라 탐방객과 지역주민, 국립공원관리공단 간의 갈등이 발생하고 있다. 일부 산악단체 회원 및 산행객은 탐방활동의 기회보장, 지역주민들은 지역사회의 탐방객 감소로 인한 지역경제 낙후를 이유로 탐방로의 특별보호구 지정해제를 주장하고 있다. 학계에서는 이러한 갈등이 특별보호구 제도가 적용된 탐방로의 생태적 민감성 및 중요성에 대한 대중의 이해가 부족하고, 이 제도를 통한 관리의 효과가 명확히 제시되지 않는데 기인한 것으로 보고 있다(Cho, 2012; Yoo et al., 2009).

등산을 포함한 탐방활동은 그 대상 자연환경에 교란을 발생시키고 부정적 영향을 초래한다(Cole et al., 1983; 1996). 탐방활동으로 인한 답압은 초본, 관목 및 유기물질의 제거, 임목의 손상, 토양밀도 증가와 토양 수분 및 양분 감소, 토양 침식 등의 초래하여 식생과 토양환경을 손상시킨다(Manning, 1979). 탐방활동에 의한 토양의 영향은 주로 토양 용적밀도, 토양수분, 토양양분의 변화로 알려져 있다. 탐방활동으로 인해 증가하는 것으로 밝혀진(Fred, 1986) 용적밀도는 그 증가로 인해 수분 함량 및 가용성, 기체확산 및 식물근계 발달을 저해하고(Taylor et al., 1991), 궁극적으로 토양손실을 야기한다. 또한 토양 용적밀도의 증가는 토양수분을 감소시켜 탐방로의 식생과 토양의 훼손이 심해지거나 회복이 제한되도록 한다(Sutherland et al., 2001; Crawford et al., 1977). 자연적인 공급량은 매우 적지만 중요한 양분인 토양 질소 역시 탐방활동의

영향을 받는다(Godefroid et al., 2003). 토양 pH는 토양 미생물과 식물의 생육에 영향을 미치는데(Cho et al., 2002) 토양이 산성화 되면 NOx나 SOx와 같은 음이온이 Ca, Mg 등의 양이온과 결합하여 식물의 필수 영양원소가 용탈하게 되고, 식물의 세균발생이나 신장생장을 억제하여 식물의 양분 흡수를 저해한다(Jin et al., 2008).

탐방활동에 의한 환경 피해는 대상지의 식생과 토양의 이화학적 특성에 동시에 나타나지만(Cole et al., 1983; 1996; Manning, 1979; Sutherland et al., 2001; Crawford, et al., 1977), 국내에서 실시된 탐방로 피해에 관한 연구는 식생과 토양의 물리적 특성 위주로 실시되었다. Kwon et al.(2004)의 백두대간 마루금 지역 훼손실태를 다룬 연구에 의하면 탐방활동으로 인해 암석노출, 뿌리노출, 종침식의 발생빈도가 높게 나타났다. Kwon et al.(1991)의 지리산 국립공원 지역 연구에 의하면 지면식생의 손상과 토양 침식 수준을 판단하기 위해서 환경피해도 등급을 적용하여 탐방로 이용강도가 심해질수록 식생피도가 감소하고 토양침식이 심화되어 인위적 복구가 필요한 4등급 이상으로 판정되는 지역이 증가하는 것으로 확인되었다. 식생 종이 받는 영향을 측정된 Lee et al.(1997)의 연구에서는 상대우점치, 종다양도지수, 유사도지수를 비교하였을 때 등산로 주변의 종구성이 주변의 식생지대와 이질적인 것으로 나타났다.

해외의 선행연구들에 따르면 탐방활동으로 인한 대상지의 피해·회복을 판단하기 위하여 식생 종 구성 및 피도와 토양 밀도 및 양분을 포함하는 토양 특성을 중심으로 실시되었다(Thurston et al., 2001; Stohlgren et al., 1986; Cole et al., 1983; Godefroid et al., 2003). Thurston et al.(2001)의 연구에 의하면 500회의 보행답압을 가한 탐방로에서 85%의 지면식생 손상과 30%의 나지가 발생하였으나 1년 후에 모두 회복되었으며, Thorud et al.(1976)의 연구에서는 건설용 장비를 이용하여 답압을 가한 지역에서 4-8년 이후 0-8 cm 깊이의 토양밀도의 회복이 확인되었다. 하지만 훼손지의 자연적인 회복은 오랜 시간이 필요하며 피해정도에 따라 일정 기간이 지나도 식생의 회복과 종 구성의 완전한 회복이 이루어지지 않을 수 있다(Stohlgren et al., 1986; Cole et al., 1983). Godefroid et al.(2003)의 연구에 따르면 탐방로의 폐쇄 6년 이후에도 토양의 총 질소가 지속적으로 감소하여 식생의 회복에 장애요인으로 작용하였다. 따라서 훼손된 토양과 식생의 회복속도를 촉진하기 위해서는 토양의 양분, 물리적 구조, 양분 사슬을 포함한 토양 생태계의 빠른 안정이 중요하며, 필요에 따라 적극적인 복원 기법의 도입이 강조되고 있지만(Godefroid et al., 2003; Cole et al., 1983), 국내 연구에서는 훼손지의 토양특성에 관한 연구가 부족하였다.

이 연구는 훼손 탐방로 관리를 위한 특별보호구 제도의

효과를 밝히기 위해 시계열적 접근법으로¹⁾ 국립공원의 높은 이용강도로 인한 답압피해가 예상되는 일반 탐방로와 특별보호구로 지정되어 장기간 탐방객의 이용이 금지된 탐방로의 토양특성과 지면피도를 비교하였다.

연구방법

1. 연구대상지

1983년에 국립공원으로 지정된 북한산 국립공원은 북위 37°35'53"~37°43'54", 동경 126°56'05"~127°03'04"에 위치하는 산지로서 북한산과 도봉산을 포함하며, 대표적인 수도권의 산악형 여가공간이다(KNPS, 2009). 북한산 국립공원은 백운대(836 m)를 중심으로 남북으로 주능선이 연결되며, 해발 600 m 이상 능선부는 대부분 암석 노출지대로서 급경사를 이루고 있다. 동사면보다 서사면의 경사도가 급하며, 토양은 대부분 조립질 화강암질 풍화토이고, 계곡부에는 식양토 등 국지적 차이를 나타내고 있다(Oh et al., 1987). 연평균 기온은 12.5°C, 강수량은 1450.5 mm이며 강수량의 대부분은 6월~9월에 집중되는 하계다우형의 전형을 보이고 있다(Shin et al., 2013). 가을철 가뭄과 겨울철 이상고온으로 토양의 수분부족으로 인해 고사목이 발생하고 있다(KNPS, 2009).

북한산 국립공원 내에서 특별보호구로 지정된 폐쇄 탐방로인 ‘우이대피소 위 하루재, 깔다고개 갈림길~깔다고개 위’(폐쇄 탐방로)구간과 해당 탐방로와 인접한 일반 탐방로인 ‘우이산장~하루재’(개방 탐방로) 구간을 조사대상지로 선정하였다. 특별보호구로 지정된 ‘우이대피소 위 하루재, 깔다고개 갈림길~깔다고개 위’(폐쇄 탐방로) 구간은 과거에 높은 이용강도와 그에 따른 답압으로 훼손이 심하여 1996년부터 2011년까지 출입이 금지되었다. 그러나 식생과 토양의 회복상태가 미흡하다고 판단한 국립공원관리공단은 2012년 1월 1일 자 특별보호구 연장지정 공고를 통해 추가 5년간 구간이 폐쇄됨을 알린바 있다(KNPS, 2012). 특별보호구(개방 탐방로) 구간 내의 탐방로의 총 길이는 500 m, 고도는 해발 390~500 m, 동사면에 위치한다. 일반 탐방로인 ‘우이산장~하루재’구간은 ‘우이대피소 위 하루재, 깔다고개 갈림길~깔다고개 위’(폐쇄 탐방로) 구간과 인접하여 나누어진 탐방로로서 총 길이 450 m, 고도는 해발 320~560 m, 남동사면에 위치한다.

2. 조사 및 분석방법

1) 조사구 설정 및 조사 시기

조사구의 선정은 Cole에 의해 고안되어 훼손지의 식생

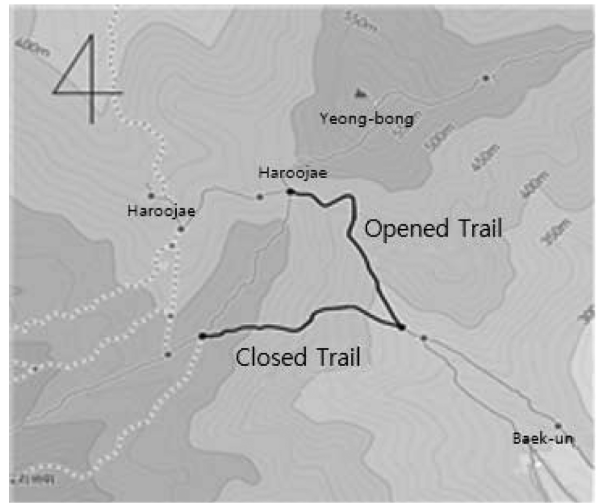


Figure 1. Location of trails in study area.

피도 조사에서 범용적으로 사용되고 있는 방법을 참고하였다(Cole, 1995; Nepal et al., 2007). 탐방로를 따라서 최소 10 m 이상의 간격으로 14개의 방형구를 설치하고, 탐방로 주변부에 조사구, 탐방로에서 4 m 떨어진 자연지역에 대조구를 설치하여 쌍을 이루었다(Figure 2). 조사는 2011년 10월 초에 예비답사를 실시하고, 10월 중순부터 11월 초 4일간 폐쇄 탐방로와 개방탐방로에 각각 14쌍의 조사구를 선정하여 식생피도를 조사하고 토양을 채취하였다.

2) 토양특성

토양시료는 대부분의 초본 식생의 뿌리 양분 섭취가 활발히 일어나는 지표 10 cm 깊이의 토양을 채취하기 토양에 시료채취기를 수직으로 삽입하여 토양구조를 파괴하

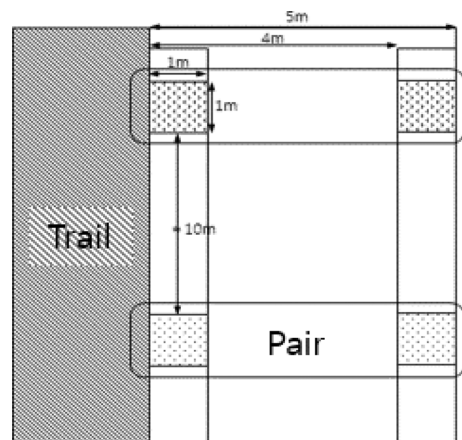


Figure 2. Design of study plots.

¹⁾ 이 연구에서 제시하는 결과는 일반 탐방로를 기준으로, 폐쇄된지 16년간 인위적 치방없이 자연적으로 회복된 탐방로, 그리고 추가로 5년간 특별보호구 지정으로 폐쇄된 동일한 탐방로의 총 22년 간 변화된 식생과 토양 상태를 비교하는 진행 중인 연구의 중간 산물이다. 후속 연구는 5년간의 추가 특별보호구 지정이 종료되는 2016년에 시행될 예정이다.

지 않은 채 들어내어 100 스테인레스 원통을 이용하여 채취하였다(Cho et al., 2002). 개방탐방로에 각각 14쌍의 조사구를 선정하여 식생피도를 조사하고 토양을 채취하였다(Allen et al., 1974).

채취한 토양시료에서 용적밀도, 토양수분, 총 질소, pH, 토양유기물을 측정하였다. 용적밀도는 채취한 토양을 105°C에서 12시간 건조한 후 총 부피로 나누어 측정하였다(Cho et al., 2002) 토양의 수분은 건조중량법을 이용하여 오븐(oven)에서 105°C에서 12시간 건조한 후 증발되어 없어진 수분량을 건조에 대한 백분율로 구하고, 이 값에 ‘토양의 용적밀도/물의 밀도’의 비를 곱하여 용적수분함량을 구하였다. 토양 유기물은 용기에 건조한 토양을 옮겨 담아 무게를 측정 후, 600°C에서 6시간 가열한 후 감소한 무게를 측정하여 작열손실량을 통해 측정하였다(Cho et al., 2002). 총질소와 pH는 서울대학교 농생명과학공동기기원(NICEM)에 의뢰하여 분석하였다.

3) 식생피도 측정

식생피도의 측정은 방형구의 각 조사지점에서 1 m×1 m 방형구를 사용하여 측정하였다(Scherrer et al., 2006). 한편이 1 m인 정사각형의 식생조사구를 25칸의 20×20 cm 소조사구로 나누어 한 칸이 4%를 나타내도록 하여, 각 조사구의 식생피도와 나지, 낙엽 및 암석 비율을 측정하였다.

Table 1. Environmental damage condition rating class (Kwon et al., 1991).

Grade	Description
0	No impacts found on ground vegetation.
I	Ground vegetation flattened but not permanently injured.
II	Ground vegetation partially flattened but barren soil is lesser than 25%.
III	Ground vegetation lost on most of the site, but barren soil is lesser than 75%.
IV	Bare soil widespread. Soil erosion or root exposure is not found.
V	Bare soil widespread. Soil erosion or root exposure obvious.
VI	Rivulet or gully erosion in progress. Severe damage occurred.

4) 환경피해도 등급

1 m×1 m 방형구로 측정된 식생피도를 환경피해도 등급에 적용하여 훼손 및 회복 수준을 판단하였다. 환경피해도 등급(Table 1)은 산림 내에서 자연지역의 훼손정도를 구분할 수 있는 평가 방법으로 Frisselli이 1978년에 발표한 Condition Rating Class 5등급을 권태호 등이 우리나라 지형특성과 이용공간의 실성을 감안하여 보완한 것이다(Kwon et al., 1997). 식생 피해가 없는 지역은 0등급, 식생 피해 및 나지 비율에 따라 1~6등급으로 구분하여 총 7개 등급으로 나누어지며 환경피해도 등급이 3등급 이상일 경우, 훼손이 진행 중인 것으로 판단한다(Kwon et al., 1991).

5) 통계분석

특별보호구 지정 탐방로(폐쇄탐방로) 구간과 일반 탐방로(개방탐방로) 구간의 탐방로 주변부 실험구와 자연지역 대조구를 탐방로와 대조구의 식생피도와 토양특성을 분석하였다. Shapiro-Wilk 정규성 검정을 실시한 결과 토양 특성 모집단의 정규성은 가정할 수 있었지만, 식생피도와 관련된 모집단의 정규분포를 가정할 수 없었다. 따라서 토양 특성 변수(토양 용적밀도, 수분, 총 질소, pH, 유기물)에 대하여 paired t-test를 실시하였고, 식생피도 변수(식생피도, 낙엽, 암석, 나지)에 비모수검정방법인 Wilcoxon rank-sum test를 실시하였다. 폐쇄탐방로와 개방탐방로의 사면 차이로 인한 환경적 차이가 있으므로 각각의 탐방로 구간에서의 조사구와 대조구를 비교하였다. 통계프로그램 Windows용 R 3.12(R, 2014)을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 토양분석

조사대상지역인 북한산국립공원의 탐방로 중 1996년부터 2011년까지 특별보호구로 지정된 개방 탐방로인 ‘하루재~우이산장’구간(개방 탐방로)과 ‘우이대피소위 하루재, 갈닥고개갈림길~갈닥고개위’구간(폐쇄 탐방로)에 대한 토양 특성을 나타낸 값은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical and chemical properties of soil at each trail. In this study, bulk density, volumetric soil water, total nitrogen, pH, organic matter were measured [Mean(SE)].

	Wooisanjang-Haroojae (Opened Trail)			Haroojae-Kkaldakgogae Turn-off (Closed Trail)			Comparison of control plot at each trail		
	Trailside	Control	p	Trailside	Control	p	Opened	Closed	p
Bulk density (g/cm ³)	1.04(0.04)	0.79(0.04)	<0.05	0.9(0.03)	0.95(0.04)	>0.05	0.79(0.04)	0.95(0.04)	<0.05
Volumetric soil water(%)	9.60(0.67)	15.26(0.99)	<0.05	12.6(1.23)	11.61(1.23)	>0.05	15.26(0.99)	11.61(1.23)	<0.05
Total nitrogen(%)	0.43(0.06)	0.6(0.06)	<0.05	0.41(0.03)	0.49(0.06)	>0.05	0.6(0.06)	0.49(0.06)	>0.05
pH	4.51(0.11)	4.27(0.09)	<0.05	4.29(0.06)	4.16(0.06)	>0.05	4.27(0.09)	4.16(0.06)	>0.05
Organic matter(%)	9.98(1.37)	13.58(1.04)	<0.05	9.12(0.76)	9.14(0.80)	>0.05	13.58(1.04)	9.14(0.80)	<0.05

1) 용적밀도

조사지역에서 측정된 평균 용적밀도는 우리나라의 산림토양의 평균 토양용적밀도인 $0.8\sim 1.0\text{ g/cm}^3$ 와 유사하였지만(Jeong et al., 2002), 개방구간 탐방로와 폐쇄구간 탐방로 간의 용적밀도 차이가 확인되었다. 탐방객의 휴양활동으로 인한 답압에 노출된 개방구간 탐방로의 평균 용적밀도는 $1.04\pm 0.04\text{ g/cm}^3$, 대조구의 평균 용적밀도는 $0.79\pm 0.04\text{ g/cm}^3$ 로 탐방로의 용적밀도가 더 높게 나타났다($p<0.05$). 반면 폐쇄구간 탐방로의 평균 용적밀도($0.9\pm 0.03\text{ g/cm}^3$)와 대조구의 평균 용적밀도($0.95\pm 0.04\text{ g/cm}^3$) 간에는 차이가 나타나지 않았다($p>0.05$). 토양 용적밀도는 탐방객들의 휴양활동이 탐방로에 미치는 영향을 가장 직접적으로 확인할 수 있는 변수로써(Cole, 1982), 개방탐방로와 폐쇄탐방로 간의 용적밀도 차이를 확인하여 특별보호구 지정을 통한 탐방로 폐쇄가 토양회복에 효과가 있는 것으로 보인다. 이러한 결과는 탐방로 이용으로 인한 답압피해를 다룬 연구(Crawford and Liddle, 1977)와 장기간의 이용금지를 통한 토양 용적밀도의 회복을 확인한 선행연구(Thorud et al., 1976; Li et al., 2006)들의 결과들과 유사하였다.

2) 토양 수분

토양 수분 분석결과 개방구간 탐방로의 평균 토양 수분($9.60\pm 0.67\%$)이 대조구의 평균 토양 수분($15.26\pm 0.99\%$)보다 낮게 나타났다($p<0.05$). 반면 폐쇄구간 탐방로의 평균 토양 수분($12.60\pm 1.23\%$)과 대조구의 평균 토양 수분($11.61\pm 1.47\%$)간에는 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다($p>0.05$). 탐방로의 토양수분은 탐방활동으로 발생하는 답압의 영향으로 토양 용적밀도 및 전단강도가 증가하고, 수분전도도 및 공극률의 감소로 인해 줄어드는 것으로 알려져 있다(Sutherland et al., 2001). 이런 결과는 탐방객의 휴양활동이 탐방로 토양의 수분이 감소에 영향을 미쳤으나, 특별보호구 지정을 통한 탐방로 폐쇄가 토양의 수분 함유율 회복에 긍정적 효과가 있었음을 의미한다.

3) 총 질소

토양 총 질소는 개방 탐방로($0.43\pm 0.06\%$)가 대조구($0.60\pm 0.06\%$)보다 낮은 것으로 확인되었다($p<0.05$). 반면, 폐쇄 탐방로의 토양 총 질소($0.41\pm 0.03\%$)와 대조구의 토양 총 질소($0.49\pm 0.06\%$) 간에는 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것을 확인하였다($p>0.05$). 조사지 내 탐방로의 토양 총 질소는 Jeong et al.(2002)의 연구에서 조사된 전국 산림지역의 $0.05\sim 0.43\%$ 에 비해 높게 나타났으나, 2009년에 국립공원 관리공단에서 실시한 우이지역 자원모니터링 결과인 0.46% 와 비슷한 수준이었다(KNPS, 2009). 이는 산림토양의 총 질소가 주로 토양 유기물 및 낙엽에

서 비롯되기에 본 연구대상지에 유기물의 유입이 활발한 것으로 판단된다. 개방구간에서 질소함량의 감소는 탐방활동으로 인해 개방구간 탐방로의 지면 식생과 낙엽이 제거되고 답압이 증가하여 토양수분이 감소한 영향으로 판단되며, 반면 특별보호구제도가 실시된 폐쇄된 탐방로의 토양 질소의 함량은 자연적인 상태로 회복된 것으로 보인다.

4) pH

개방탐방로의 평균 토양 pH는 4.51 ± 0.11 , 대조구의 평균 토양 pH는 4.27 ± 0.09 로 나타나 대조구가 더 산성을 띠었다($p<0.05$). 반면 폐쇄탐방로의 평균 토양 pH(4.29 ± 0.06)와 대조구에서는 pH(4.16 ± 0.06)의 차이는 없는 것으로 확인되었다($p>0.05$). 분석결과에 따르면 조사지의 토양 pH는 Lee(1981)와 Jeong et al.(2002)이 제시한 우리나라 산림토양의 평균인 pH 5.5와 pH 5.48에 비하여 산성화된 것으로 확인되었으나, 국립공원 관리공단에서 2009년에 우이지역에서 실시한 자원모니터링 결과인 pH 4.2~4.6과 비슷한 수준이었다(KNPS, 2009). 토양 산성화에 영향을 주는 원인은 크게 중금속, 산성비 등을 통한 산성물질의 첨가, 물의 용탈작용, 시비, 토양의 완충능으로 구분되는데(Jin, 2002), 조사대상지처럼 pH 5.0 이하의 강한 산성을 띠는 토양은 환경오염물질의 영향 가능성을 고려할 수 있다(Jeong et al., 2002). 조사지역은 서울에 위치한 도시형 국립공원으로 대기오염에 의한 산성비 외에 특별한 산성물질의 첨가 및 시비 활동은 없는 것으로 판단된다. 개방탐방로의 대조구가 탐방로보다 더 산성으로 나타난 이유는 탐방로보다 더 산성으로 나타난 이유는 토양생물의 호흡에 의한 이산화탄소가 토양수에 용해되어 치환성염기가 치환해리되고, 토양콜로이드의 치환성 H⁺가 증가하여 치환성 Al³⁺로 점유된 결과로 보이며(Jin, 2002; Lee, 1981), 식생에 의한 양이온 흡수감소에 따른 수소이온 농도의 감소가 원인일 수 있다. 침엽수의 생육범위가 토양 pH 4.8~5.5, 활엽수가 토양 pH 5.5~6.5이므로(Lee, 2000) 조사지역내 토양 산성도는 임목 생장에 제한요인으로 작용할 수 있을 것으로 예상된다.

5) 토양 유기물

분석된 결과를 살펴보면 개방 탐방로의 평균 유기물함량($9.98\pm 1.37\%$)이 대조구의 평균 토양 유기물함량($13.58\pm 1.04\%$)보다 더 낮았고($p<0.05$), 폐쇄 탐방로의 평균 유기물함량($9.12\pm 0.76\%$)과 대조구의 평균 유기물 함량($9.14\pm 0.80\%$) 간에 차이가 없었다($p>0.05$). Cole(1982)과 Belnap(1998)의 연구에서 공원 방문객의 이용으로 인해 토양 유기물의 감소가 확인되었다. 산림 생태계의 양분순환에서 양분의 이입은 주로 낙엽에 의존하는데(Bray et al., 1964), 개방 탐방로의 경우, 탐방활동으로 인해 낙엽층이 제거되

Table 3. Ground cover ratio at each trail (Mean(SE)).

	Woisanjang-Haroojae (Opened Trail)			Haroojae-Kkaldakgogae Turn-off (Closed Trail)			Comparison of control plot at each trail		
	Trailside	Control	p	Trailside	Control	p	Opened	Closed	p
Vegetation(%)	8.29(1.50)	24.79(3.69)	<0.05	15.29(2.33)	26.07(4.51)	<0.05	24.79(3.69)	26.07(4.51)	>0.05
Bare soil(%)	25.43(6.32)	2.43(0.85)	<0.05	10.64(5.61)	3.14(1.34)	>0.05	2.43(0.85)	3.14(1.34)	>0.05
Plant Litter(%)	57.93(5.95)	71.36(4.27)	<0.05	70.57(6.16)	69.5(4.60)	>0.05	71.36(4.27)	69.5(4.60)	>0.05
Exposed Rock(%)	7.64(1.89)	1.43(0.52)	<0.05	3.57(0.76)	1.86(0.50)	>0.05	1.43(0.52)	1.86(0.50)	>0.05

어 유기물층이 손실되어 토양 유기물이 감소한 것으로 보인다. 이는 그에 비해 장기간의 출입이 금지된 폐쇄 탐방로의 경우, 유기물 유입의 교란이 제거되어 자연상태의 수준으로 회복된 것으로 판단된다.

2. 지면피도

개방탐방로와 폐쇄탐방로의 지면피도 분석결과는 Table 3과 같다. 개방 탐방로는 대조구에 비하여 식생피도 비율이 16.5%($p<0.05$), 낙엽 비율이 13.4% 더 낮았고($p<0.05$), 나지비율이 23%($p<0.05$), 암석비율이 6.2% 더 높았다($p<0.05$). 이는 탐방활동으로 인해 지면식생과 낙엽의 제거되고 답압으로 인한 토양 손상의 영향으로 보이며, 전형적인 탐방로 훼손이 진행 중인 것으로 판단된다(e.g. Kwon et al., 2004; Oh et al., 1987). 반면, 폐쇄 탐방로의 경우 식생피도 비율이 대조구보다 10.8% 낮았고($p<0.05$), 나지($p>0.05$), 낙엽($p>0.05$), 암석비율($p>0.05$)에서는 차이가 없었다. Scherrer et al.(2006)의 연구에 따르면 훼손된 탐방로가 15년 동안 출입이 금지된 후에도 원상태로의 회복이 이루어지지 않은 것으로 나타났고, 일반적으로 특별한 조치 없이 폐쇄된 탐방로의 회복은 느린 것으로 알려져 있다(Eagen et al., 2000). 훼손 탐방로를 장기간 폐쇄하여 답압 교란을 제거하더라도 식생피도의 완전한 회복은 어려운 것으로 보이며, 17년을 폐쇄한 탐방로의 식생피도의 복원도 오랜 시간이 더 필요할 것으로 판단된다.

3. 환경피해도 등급

오랜 기간 특별보호구가 적용된 폐쇄 탐방로에서 식생피도의 완전한 회복은 이루어지지 않았으나($p<0.05$), 해당 지역의 전반적인 회복수준을 판단하기 위해 Frisell의 환경피해도 등급을 오구균 등(1991)이 우리나라 지형특성에 맞게 보완한 환경피해도 등급을 적용하여 비교하였다(Table 3) 훼손이 진행 중인 것으로 판단되는 3등급 이상으로 분류된 지점이 개방 탐방로에서 총 14개 지점에서 7곳(50%)으로 확인되어 해당 탐방로의 상당부분에서 훼손이 진행 중인 것으로 나타났다. 폐쇄 탐방로의 경우 3등급이 이상인 지점이 총 14개 지점 중 2개 지점(15%)으로 확인되어

Table 4. Application of environmental damage condition rating class on the opened trail and the closed trail.

Class	Woisanjang-Haroojae (Opened Trail)		Haroojae-Kkaldakgogae Turn-off (Closed Trail)	
	Trailside	Control	Trailside	Control
0	0	7	2	9
I	2	5	7	4
II	5	2	3	1
III	7	0	1	0
IV	0	0	1	0
V	0	0	0	0
VI	0	0	0	0
% of plots above class III	50	0	14	0

식생피도가 자연수준(대조구)에는 도달하지 못하였으나 양호하게 회복된 것으로 보인다.

4. 특별보호구 제도의 훼손 탐방로 관리 효과성에 대한 고찰

국내 선행연구들은 국립공원 방문객이 탐방로 훼손에 미치는 영향을 분석하기 위해 식생피도와 토양침식, 환경피해도 등급을 측정하였으며, 탐방객의 휴양활동으로 인한 조사대상지의 피해 심각성과 그에 따른 관리방안을 제시하였으나, 훼손된 탐방로의 회복을 위해 실시된 특별보호구 제도의 효과성은 평가하지 못했다(Kwon et al., 1991; Kwon et al., 2004; Mun et al., 2013; Kim, 2011).

본 연구에서는 특별보호구 제도를 통한 훼손지 회복 효과성을 분석을 위해 탐방객에게 지속적으로 개방된 탐방로와 특별보호구역으로 지정되어 폐쇄된 탐방로 토양의 이화학적 특성과 식생피도를 분석하였다. 연구결과 탐방객에게 개방된 일반 탐방로에서는 토양과 식생의 피해가 확인되었으나, 17년간 출입이 통제된 폐쇄 탐방로에서는 토양 회복을 확인할 수 있었으며, 식생피도도 대조구의 90%수준까지 회복된 것을 확인할 수 있었다($p<0.05$).

17년간의 탐방객 출입 통제를 통해 국립공원의 훼손 탐방로 회복 측면에서 긍정적인 효과를 확인할 수 있었으나, 특별보호구 지정을 통한 훼손지 복원 목표는 아직까지 달

성되지 못한 것으로 나타났다. 탐방활동으로 인한 탐방로 훼손은 급격히 발생할 수 있지만 회복에는 오랜 시간이 소요된다. 특별보호구 지정을 통해 탐방객 이용을 통제하는 수준에서 자연적인 회복을 기대하는 것은 효과적인 훼손 탐방로 관리방법으로 보기 어렵다. 훼손 탐방로의 토양과 식생 상태의 모니터링을 통해 피해의 심각성을 평가하고, 복원 대상지의 가치와 중요성을 고려하여 특별보호구 제도 지정과 함께 적극적인 관리 수단 도입을 고려할 필요가 있다.

결론 및 제언

훼손지에 적용되는 특별보호구 제도의 효과를 알아보기 위해 북한산국립공원 에서 1996년부터 2011년까지 특별보호구로 지정된 폐쇄 탐방로와 개방 탐방로의 토양특성과 식생피도를 분석하였다. 개방 탐방로의 경우, 폐쇄 탐방로에 비해 토양 유기물의 차이는 없었으나 토양 용적 밀도가 증가되고, 총 질소와 수분이 감소되는 등 토양환경의 손상이 확인되었다. 또한 지면 식생 및 낙엽의 비율이 낮고, 나지와 암석비율이 높은 것으로 나타나 탐방로 훼손이 진행 중인 것이 확인되었다. 반면 폐쇄 탐방로의 훼손되었던 토양은 물리적·화학적으로 회복된 것으로 확인되었다. 지면피도의 경우, 낙엽, 암석의 지면피도 비율이 회복된 것이 확인되었다. 식생피도의 경우 완전한 복원은 이루어지지 않은 것으로 나타났으나, 훼손지 평가에 사용되는 환경피해도 등급을 적용했을 경우 제한적인 회복이 이루어진 것으로 나타났다.

이 연구를 통해 특별보호구로 지정되어 탐방객의 접근이 제한된 훼손 탐방로의 회복 효과가 확인되었다. 그러나 연구대상지의 토양과 식생이 서로 다른 수준으로 회복된다는 연구결과는 생태적으로 민감한 훼손지의 특별보호구 지정이 해당 훼손지가 어떻게 회복될지에 대한 과학적 판단에 근거해야 함을 지적하고 있다. 특별보호구 지정시 일률적인 기준이 적용된다면 불필요한 탐방로 폐쇄로 주변탐방로의 이용을 집중시켜 결과적으로 국립공원 내 탐방객의 만족도 저하와 함께 훼손지역이 증가하는 역효과를 발생시킬 수 있다.

따라서 특별보호구 제도의 효과성을 높이기 위해서는 지정 대상지의 가치와 중요성을 고려한 세분화된 대상지 선정 및 관리 기준의 마련이 필요하다. 이 기준에는 국제적인 보호지역(유네스코 세계유산, 생물권보전지역, IUCN 보호지역 카테고리 시스템 등)의 지정, 국립공원 내 용도지구(핵심지역, 완충지역 등), 타 정부기관 소관 보호지역(산림유전자원보호지역 등) 지정, IUCN 적색목록 종의 서식, 멸종위기 종 복원 프로그램 대상지 지정 등을 영향인자로 고려할 수 있다. 훼손이 심각해서 자연적 회복을 기

대하기 어려운 지역은 적극적인 복원 프로그램 도입이 고려되어야 한다. 복원 프로그램은 대상지 토양의 훼손도와 식생 종의 교란 저항성 및 회복능력을 바탕으로 판단되어야 하며, 상황에 따라 파종, 치수식재, 탐방로 데크 설치 등의 적극적인 복구방안이 적용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 농업생명과학대학 2011년도 전반기 신입교수 연구비와 산림청(S211314L020120)의 부분적 지원을 받아 수행되었으며, 사용된 자료는 북한산 국립공원관리공단의 허가를 받아 수집되었습니다.

References

- Allen, S.E., Grimshaw, H.M., Parkinson, J.A., and Quarmby C. 1974. *Chemical Analysis of Ecological Materials*. Blackwell Scientific Publications. Oxford, England. pp. 540-552.
- Burden, R.F. and Randerson, P.F. 1972. Quantitative studies of the effects of human trampling on vegetation as an aid to the management of semi-natural areas. *Applied Ecology* 9(2): 439-457.
- Cho, S.J., Park, C.S., U, D.I., and Cho, B.H. 2002. 4th ed. *Soil Science*. Hyangmoonsa, Seoul, Korea. pp. 58, 186, 330, 343.
- Cho, W. 2012. Deterioration Status of Closed-Trail of National Parks on the Baekdudaegan Mountains, South Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 26(5): 827-834.
- Cole, D.N. and Ranz, B. 1983. Temporary campsite closure in the selway-bitterroot wilderness. *Forestry* 81(4): 729-732.
- Cole, D.N., 1995. Experimental trampling of vegetation. II. Predictors of resistance and resilience. *Journal of Applied Ecology* 32: 215-224.
- Cole, D.N. and Landres, P.B. 1996. Threats to wilderness ecosystems: impacts and research needs. *Ecological applications* 6(1): 168-184.
- Crawford, A.K. and Liddle, M.J. 1977. The effect of trampling on neutral grassland, *Biological conservation* 12(2): 135-142.
- Fred, R.K. 1986. A review of major factors influencing plant responses to recreation impacts. *Environmental Management* 10(5): 637-650.
- Godefroid, S., Massant, W., Weyembergh, G., and Koedam, N. 2003. Impact of fencing on the recovery of the ground flora on heavily eroded slopes of a deciduous forest. *Environmental Management* 32(1): 62-76.
- Jeong, J.H., Koo, K.S., Lee, C.H., and Kim, C.S. 2002. Physico-chemical Properties of Korean Forest Soils by Regions. *Journal of Korean Forest Society* 91(6): 694-700.
- Jin, H.O., Bang, S.H., Lee, C.H., and Kim, S.Y. 2008. Effects

- of Artificially Acidified Soils on the Growth and Nutrient Status of *Pinus densiflora* and *Quercus acutissima* Seedlings. *Korean Journal of Environment and Ecology* 97(3): 266-273.
- Korea National Park Service. 2001. Study of Trail Degradation Type and Restoration Measure in National Park. Korea National Park Service. Seoul, Korea.
- Korea National Park Service. 2009. National Park Announcement 2009-No.33
- Korea National Park Service. 2009. The 8th Year Bukhansan Resource Monitoring Result. Korea National Park Service. Seoul, Korea.
- Korea National Park Service. 2012. National Park Announcement 2012-No.13. Korea National Park Service. Seoul, Korea.
- Korea National Park Service. 2014. 2014 National Park Fundamental Statistic(General). Korea National Park Service. Seoul, Korea.
- Kuss, F.R. and Hall, C.N. 1991. Ground flora trampling studies: five years after closure. *Environmental management* 15(5): 714-727.
- Kwon, T.H., Oh, K.K., and Kwon, S.D., 1991. Use Impact on Environmental Deteriorations of Trails and Campsite in Chirisan National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology* 5(1): 91-103.
- Kwon, T.H., Lee, J.W., and Kim, D.W. 2004. Trail Deterioration and Managerial Strategy on the Ridge of Baekdudaegan : A Case of the Trail Between Namdeogysuan and Sosagogaeg. *Korean Journal of Environment and Ecology* 18(2): 175-183.
- Lee, S.W. 1981. Studies on Forest Soils in Korea (II). *Journal of Korean Forest Society* 54: 25-35.
- Lee, J.W., Oh, K.K., and Kwon, T.H. 1997. Use Impacts on Environmental Deteriorations on and around Trails in Soraksan National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology* 10(2): 191-204.
- Lee, C.Y. 2000. *Forest Environmental Soil Science*, Bosung. Seoul, Korea. pp. 350.
- Li, Y.Y. and Shao, M.A. 2006. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess plateau of China. *Arid Environments* 64: 77-96.
- Manning, R.E. 1979. Impacts of recreation on riparian soils and vegetation. *American Water Resources Association* 15(1): 30-43.
- Ministry of Environment. 2006. National Park Special Protected Area Implement Plan. Ministry of Environment. Seoul, Korea.
- Nepal, S.K. and Way, P. 2007. Comparison of vegetation conditions along two backcountry trails in Mount Robson Provincial Park, British Columbia. *Environmental Management* 82: 240-249.
- Oh, K.K., Kwon, T.H., and Jeun, Y.J. 1987. Trail Damage and Vegetational Change of Trail Side in Bukhan Mountain National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology* 1(1): 35-45.
- Scherrer, P. and Pickering, C.M. 2006. Restoration of alpine herbfield vegetation on a closed walking track in the Snowy Mountains, Australia. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 38(2): 152-178.
- Shin, J.H., Yeon, M.H., and Yang, K.C. 2013. Estimation of Potential Natural Vegetation using the Estimate to Probability Distribution of Vegetation in Bukhansan National Park. *The Korea Society of Environmental Restoration Technology* 16(3): 41-53.
- Stohlgren, T.J. and Parsons, D.J. 1986. Vegetation and soil recovery in wilderness campsites closed to visitor use. *Environmental Management* 10(3): 375-380.
- Sutherland, R.A., Bussen, J.O., Plondke, D.L., Evans, B.M. and Ziegler, A.D. 2001. Hydrophysical degradation associated with hiking-trail use: a case study of Hawaii//Iloa ridge trail, O'Ahu, Hawaii. *Land degradation & Development* 12: 71-86.
- Taylor, H.M. and Brar, G.S. 1991. Effect of soil compaction on root development. *Soil & Tillage Research* 19: 111-119.
- Thorud, D.B. and Frissell, S.S. 1976. Time changes in soil density following compaction under an oak forest. *Minnesota forestry research notes*. No.257. University of Minnesota, U.S.A.
- Thurston, E. and Reader, R.J. 2001. Impacts of experimentally applied mountain biking and hiking on vegetation and soil of a deciduous forest. *Environmental Management* 27(3): 397-409.
- Torbert, H.A. and Wood, C.W. 1992. Effects of soil compaction and water-filled pore space on soil microbial activity and N losses. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23(11-23): 1321-1331.
- Yoo, K.J., Kim, J.M., and Cho, W. 2009. Perceptions of Residents and Visitors of the Policy for Special Protected Areas in Korean National Parks: A Case Study of the Nature Restoration Period in Chilsun Valley of Jirisan National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology* 23(6): 585-593.