

고속도로 절토 비탈면과 인접 자연식생지의 토양 환경 비교 분석

박관수¹⁾ · 전기성³⁾ · 송호경¹⁾ · 김남춘²⁾ · 최재용¹⁾

¹⁾ 충남대학교 산림자원학과 · ²⁾ 단국대학교 환경조경학과 · ³⁾ 한국도로공사 도로교통기술원

A Study on Soil Environment in Highway Cutting Slope and Adjacent Natural Vegetation Area

**Park, Gwan-soo¹⁾ · Jeon, Gi-seong³⁾ · Song, Ho-kyung¹⁾
Kim, Nam-choon²⁾ and Choi, Jae-Yong¹⁾**

¹⁾ Department of Forest Resources, Chungnam National University.,

²⁾ Department of Landscape Architecture, Dankook University.,

³⁾ Highway and Transportation Technology Institute, Korea Highway Corporation.

ABSTRACT

This study was carried out to estimate the physical and chemical soil characteristics in highway cutting slope areas. The soil was sampled in cutting area and natural vegetation area that was located in the upper areas of the highway cutting slope. The average total soil depth, bulk density, and soil hardness were bad in the highway cutting slope sites. The sandy loam was the most soil texture in the study area. The concentration of soil organic matter and nitrogen were very low in all highway cutting areas. The concentration of exchangeable cations was similar between the highway cutting slope and the natural vegetation sites in each highway. The soil pH was higher in highway cutting slope areas than in natural vegetation sites. In conclusion, chemical and physical properties of soil were bad in the cutting slope than in the natural vegetation area because of the loss of soil by cutting of slope area and less organic matter input by less vegetation in the highway cutting slope area. We should employ possible method to reduce the loss of soil, and compost and fertilization treatment could help to increase soil nutrient content in the cutting slope area.

Key Words : *Bulk density, Soil organic matter, Soil pH.*

Corresponding author : Park, Gwan-soo, Dept. of Forest Resources, Chungnam National Univ.,
Tel : +82-42-821-5743, E-mail : gspark@cnu.ac.kr

Received : 6 January, 2006. **Accepted** : 3 March, 2006.

I. 서론

도로 공사로 조성된 비탈면은 식생의 생육 기반이 불량하여 자연적으로 복원되기 위해서는 장기간의 시간이 필요하다. 훼손지의 빠른 복구를 위해 다양한 녹화 방법들이 시행되고 있으나 현재까지 국내의 절취된 비탈면의 녹화는 주로 외래도입 초종을 이용한 지표면 안정 및 조기 피복 위주에 집중해 왔다(한국환경복원녹화학회, 2004). 이러한 결과로 인해 주변 식생과 조화롭지 못한 경관이 조성되고, 녹화공사 후 수년 내에 외래 초본류가 쇠퇴하면서 비탈면이 다시 황폐화되고 침식 등의 피해를 가져왔으며, 또한 초기에 조성한 녹화 식물 계열 중 일부는 지나치게 밀생함으로써 주변 식생의 2차 침입을 방해하는 등 자연 친화적인 복원에 역행하는 결과들을 가져왔다(김남춘 등, 2005).

최근 건설 환경에 대한 관심이 높아지면서 훼손지를 자연친화적으로 복원해야 한다는 목소리가 높아지고 국민들의 관심도 고조되고 있다(남상준 등, 2005). 특히, 비탈면에 대한 단순 녹화 방법에서 벗어나 환경친화적이고 생태적인 비탈면 녹화를 위해서는 녹화식물의 생육특성 등에 대한 조사와 더불어 식생 정착의 기반이 되는 절토비탈면의 토양 특성에 대한 조사 및 연구가 필요하다라는 목소리가 높아지고 있다.

도로의 건설로 인해 발생하는 비탈 훼손지의 토양은 경사가 매우 급하고, 토심이 매우 얇으며 이로 인해 양분 및 수분 공급이 어렵고, 겨울에 쉽게 얼게 되며, 또한 식물 뿌리의 정착을 매우 어렵게 하는 등 식물 생육에 매우 불리한 조건을 가지고 있다(Pritchett and Fischer, 1985). 즉, 도로 비탈면의 토양 조건은 식물의 생육에 가장 중요한 영향을 미치는 환경인자로서 식물의 정착 및 지속적인 유지를 위한 녹화 복원의 성공여부에 결정적인 영향을 미치기 때문에 그에 대한 조사 및 연구는 꼭 필요하다고 사료된다.

현재까지 국내에서 고속도로 절토비탈면의 토

양 환경에 대한 조사는 매우 미미한 것으로 사료된다. 본 연구는 전국에 분포되어 있는 고속도로 절토 비탈면의 토양 환경을 절토비탈면 주변에 위치한 자연식생지 및 선행연구에 의해 보고된 토양 환경과 비교하여 문제점을 알리고, 양호한 식생 성립을 위한 토양의 개선 방향을 찾는 데 그 목적이 있다.

II. 연구의 내용 및 방법

1. 조사대상지

본 연구는 전국의 고속도로를 대상으로 하여 시행되었으며, 중부고속도로 상, 하행 구간 20개 지점, 경부고속도로 상, 하행의 12개 지점, 영동고속도로 상, 하행의 17개 지점, 동해고속도로 상, 하행의 3개 지점, 서해안고속도로 상행의 5개 지점, 남해고속도로 하행의 3개 지점, 중부내륙고속도로 하행의 9개 지점, 대구포항간 고속도로 하행의 2개 지점, 중앙고속도로 상행의 7개 지점의 절토비탈면에 대하여 토양조사를 실시하였다. 각 고속도로 절토비탈면의 토양 단면 및 이화학적 환경을 조사하였으며, 비교를 위해 각 고속도로의 절토비탈면 주변 상부에 위치한 자연식생지에 대한 토양조사를 병행하였다.

2. 토양 조사 및 분석 방법

각 고속도로 절토비탈면 및 상부에 위치한 자연식생지에서 토양의 단면 특성을 파악하기 위해 최소 B층까지 삽으로 토양을 판 후 토심 및 층위 구분을 하였다. 토양 샘플용 스테인레스 캔을 이용하여 토양의 용적밀도 분석을 위한 샘플을 현장에서 채취한 후 밀봉하여 실험실로 운반하여 현장 채취된 상태의 무게를 측정 후 105°C에서 건조시켜 건조 무게를 측정하였다. 토양의 이화학적 특성을 분석하기 위해 0-15cm의 토양 깊이에서 약 500g 정도의 토양을 현장에서 채취한 후 그늘에서 건조한 후 사용하였다.

토양의 용적밀도(g/cm^3)는 토양의 건조무게/토

양의 부피로 산출하였다(McLaren and Cameron, 1996). 토양의 유기물함량은 Wakely-Black wet oxidation법으로 분석하였고, 토성은 Hydrometer 법을 이용하여 sand, silt, clay의 비율을 구한 후 미농무성법에 의거해 분류하였다. 토양내 치환성 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+})은 1M-Ammonium acetate 침출법에 따라 ICP로 분석한 후 치환성 산도와 함께 양이온치환용량(cation exchange capacity)을 구하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 정량하였으며, 토양 pH는 1 : 5로 분석하였다(토양 및 식물체 분석법, 2000). 토양의 견밀도(kg/cm^2)는 경도계(pocket penetrometer)를 이용하여 측정하였다.

3. 고속도로 절토비탈면의 식생 현황

고속도로 절토비탈면 106개 조사구에서 출현한 종은 총 172종이며, 빈도율 순위는 싸리, 쑥, 큰김의털, 개망초, 비수리, 왕고들빼기, 능수참새그령, 오리새, 큰달맞이꽃, 등나무, 환삼덩굴, 닭의장풀, 참억새, 칩, 소나무 등의 순이었다. 한편, 자연식생지에서는 소나무, 리기다소나무, 그리고 참나무류가 주로 서식하는 것으로 나타났다.

III. 결과 및 고찰

1. 고속도로 절토비탈면과 자연식생지 토양의 단면 및 물리적 환경

고속도로별 절토비탈면 토양의 단면 및 물리적 환경은 표 1과 같다. 토양의 깊이는 식물의 양분 및 수분 공급 차원에서 매우 중요하며, 일반적으로 토심이 깊으면 토지의 생산력이 높다고 할 수 있다. 특히, 비탈면에서의 토심은 식생의 생존 및 양분과 수분 공급 차원에서 가장 중요한 인자이다(Pritchett and Fischer, 1985).

이수욱(1985)은 강원도 홍천의 소나무림에서 토심은 50cm로 나타났다고 보고하였으며, 박관수(2003)는 강원도 양양의 굴참나무림에서 토심은 85cm로 나타났다고 보고하였다. 본 조사 고속

도로 절토면의 토심은 대구-포항 고속도로에서 10.5cm로 가장 낮게 나타났으며 경부고속도로를 제외하고는 모두 30cm 이하로 낮은 토심을 보이는 것으로 나타났다. 각 고속도로별 절토면 상부에 위치한 자연식생지에서의 토심은 절토 비탈면에서의 토심에 비해 약 2배 이상 깊은 것으로 나타났다.

본 조사에서 토양의 견밀도는 자연식생지에서 1.0(kg/cm^2) 내외를 보인 반면, 고속도로 절토 비탈면에서는 최소 1.7(중앙고속도로)에서 최대 4.2(동해고속도로)로 각 고속도로의 자연식생지와 비교하여 약 2배 이상 높은 것으로 나타나서 토층의 투수성 및 식물뿌리의 신장 등에 좋지 않은 영향을 줄 것으로 판단된다.

토양의 구조를 잘 반영해주고 공기유통이나 수분의 저장능력 등을 나타내는 용적밀도는 발토양이나 산림토양에서는 약 1.0(g/cm^3) 내외의 값을 보이는 것으로 보고된다(조성진 등, 1985). 본 조사지 절토 비탈면의 상부에 위치한 자연식생지에서 용적밀도는 1.0 또는 1.10 내외로 나타난 반면, 고속도로 절토 비탈면에서는 최소 1.25(경부고속도로)에서 최대 1.42(서해안고속도로)로 매우 높게 나타내서 토양 중 공기유통이나 수분저장에 불리하게 작용할 것으로 판단된다.

모래, 점토, 미사의 상대적인 비율을 나타내는 토성은 대부분의 고속도로에서 모래가 많은 사양토가 가장 많이 나타나서 급경사지의 경우 토양의 흘러내림과 침식 등의 피해를 가중시킬 것으로 판단된다. 사양토가 많이 나타나는 이유는 절토비탈면의 경우 식물체 등에 의한 풍화가 많이 이루어지지 않았고 주로 화강암을 모재로 하는 지역이 많았기 때문으로 사료된다. 자연식생지 토양의 경우 양토나 사질식양토가 많이 나타났다.

결론적으로 자연식생지에 비해 고속도로 절토 비탈면에서 토양의 물리적 환경은 매우 열악한 것으로 나타났으며, 이 같은 결과는 공사 시 비탈면 절개로 인한 토양층의 유실 때문으로 판단되며, 또한 공사 후 식생의 성립이 열악하여 토양의

표 1. 고속도로별 절토비탈면과 자연식생지의 토양 단면 및 물리적 환경.

고속도로	조사지 구분	조 사 항 목			
		전토심 (cm)	건밀도 (kg/cm ²)	토 성	용적밀도 (g/cm ³)
중 부	절토비탈면 자연식생지	14.5	1.8	사양토	1.36
		46.5	0.8	양 토	0.99
경 부	절토비탈면 자연식생지	30.3	2.1	사양토	1.25
		53.0	0.7	사양토	1.00
영 동	절토비탈면 자연식생지	16.0	3.1	사양토	1.41
		65.0	1.0	사질식양토	1.00
동 해	절토비탈면 자연식생지	11.6	4.2	사양토	1.4
		45.0	1.0	사양토	1.20
서 해 안	절토비탈면 자연식생지	24.0	4.1	사질식토	1.42
		60.0	0.5	식양토	1.00
남 해	절토비탈면 자연식생지	19.3	2.5	사양토	1.36
		35.0	1.0	사질식양토	1.10
중부 내륙	절토비탈면 자연식생지	25.9	2.4	사양토	1.36
		49.0	0.8	양 토	1.15
대구 포항	절토비탈면 자연식생지	10.5	4.0	사양토	1.35
		33.0	1.5	양 토	1.08
중 양	절토비탈면 자연식생지	15.3	1.7	사양토	1.36
		51.0	0.9	사양토	1.19

물리적 특성에 가장 큰 영향을 주는 유기물의 공급이 매우 적었기 때문에 판단된다.

2. 고속도로 절토비탈면과 자연식생지 토양의 화학적 환경

고속도로별 절토비탈면과 인접한 자연식생지 토양의 화학적 환경은 표 2와 같다. 토양 중 유기물은 토양의 물리적 특성 변화에 지배적 역할을 하며, 질소의 대부분을 공급하고, 유효인산의 50-60%를 공급하며, 양이온치환용량을 개선시키는 등 토양 특성에 가장 큰 영향을 주는 인자이다 (Brady, 1990). 우리나라의 정상적인 산림토양의 A층에 있어서 유기물함량은 최소 2% 이상으로 보고 되어진다(이수욱, 1985; 박관수, 2003; 박관수 등, 2003). 본 조사의 고속도로 절토 비탈면에서의 유기물함량은 최소 0.32%(동해고속도로)에서 최대 1.90%(중부내륙고속도로)로 나타났으며,

절토비탈면 상부에 위치한 자연식생지에서의 유기물함량과 비교하여 대부분의 고속도로에서 약 2-3배 정도 적은 것으로 나타났다. 이러한 결과 또한 앞에서 설명한 것처럼 절개면 공사로 인해 유기물을 많이 함유하고 있는 표층토의 유실 및 식생에 의한 유기물의 공급이 적었기 때문에 판단된다. 이 같은 결과는 식물체에 대한 장기간의 양분 공급 차원에서 심각하게 고려되어야 할 것으로 사료된다.

박관수(2003)는 강원도 평창의 신갈나무 임분에서 토양의 전질소는 0.35%로 나타났다고 보고하였으며, Brady(1990)는 일반적인 토양의 전질소함량은 약 0.15% 정도라고 보고하였다. 본 조사에서 식물생장에 가장 결핍되기 쉬우며, 유기물함량의 영향을 가장 많이 받는 전질소는 모든 고속도로에서 1.0%로 이하로 나타났으며 대부분의 경우 매우 낮은 수준을 보였다. 각 고속도로별

표 2. 고속도로별 절토비탈면과 자연식생지에서 토양의 화학적 환경.

고속도로	조사지 구분	조 사 항 목					
		유기물 (%)	전질소 (%)	유효인산 (mg/kg)	치환성 K (me/100g)	치환성 Ca (me/100g)	pH (1 : 5)
중 부	절토비탈면	1.07	0.06	13.9	0.20	3.98	5.58
		자연식생지	2.61	0.10	12.5	0.16	1.52
경 부	절토비탈면	1.69	0.08	27.9	0.22	4.56	5.65
		자연식생지	2.53	0.39	22.3	0.23	1.57
영 동	절토비탈면	0.96	0.05	17.6	0.11	4.45	5.91
		자연식생지	5.43	0.21	20.4	0.16	1.87
동 해	절토비탈면	0.32	0.02	17.5	0.08	3.91	6.77
		자연식생지	1.88	0.11	8.8	0.07	1.11
서 해 안	절토비탈면	0.61	0.04	25.0	0.16	0.82	5.46
		자연식생지	2.82	0.14	14.2	0.10	0.88
남 해	절토비탈면	1.69	0.08	15.7	0.19	3.47	5.45
		자연식생지	2.67	0.13	12.3	0.22	1.78
중부내륙	절토비탈면	1.90	0.09	22.7	0.25	9.86	6.64
		자연식생지	3.20	0.15	21.2	0.23	5.84
대구 포항	절토비탈면	0.70	0.04	16.7	0.23	5.70	6.49
		자연식생지	2.97	0.15	34.0	0.19	1.56
중 양	절토비탈면	1.66	0.10	28.1	0.23	10.6	6.67
		자연식생지	2.35	0.12	18.5	0.20	1.61

로 자연식생지와 비교하여도 약 2배 정도 낮은 수준으로 나타나서 양분공급 차원에서 개선되어야 할 것으로 사료된다.

박관수와 이승우(2000)는 충북 충주의 소나무림에서 토양 중 유효인산은 10.1-24.4(mg/kg)의 분포를 보였다고 하였으며, 이수욱(1985)은 강원도 홍천의 소나무림에서 토양 중 유효인산은 9.0-24.0의 분포를 보였다고 하였다. 본 조사의 경우 유효인산 함량은 12.0-28.1의 분포를 보여서 위에서 언급한 선행연구들과 유사한 값을 보이고 있으며, 각 고속도로별로 자연식생지와 절토비탈면에서의 유효인산 함량은 비슷하거나 또는 약간 적거나 많은 것으로 나타났다.

이수욱(1985)은 강원도 홍천의 소나무림에서 토양 중 치환성 K 함량은 0.10-0.30(me/100g)로 나타났다고 보고하여 본 조사의 결과와 유사한 분포를 보였다. 각 고속도로별 절토비탈면에

서의 치환성 K 함량은 대부분의 경우 자연식생지와 비교하여 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

이수욱(1985)은 강원도 홍천의 소나무림에서 토양 중 치환성Ca 함량은 1.20-2.01(me/100g)로 나타났다고 보고하였으며, 박관수 등(2000)은 충북 충주의 자작나무와 가래나무 조림지에서 치환성Ca는 1.22-6.53으로 분포한다고 보고하였다. 본 조사지 절토 비탈면에서의 치환성Ca 함량은 0.82-10.6로 나타나서 선행연구와 비슷한 분포범위를 보였으며, 자연식생지와 비교하여 절토비탈면에서 높게 나타나서 치환성 양이온들의 공급에는 큰 문제가 없는 것으로 사료된다.

고속도로 절토비탈면 토양의 평균 pH는 남해 고속도로에서 최소 5.45, 중앙 고속도로에서 최대 7.13으로 일부의 경우 우리나라 산림토양에서의 일반적인 pH 값보다 약간 높은 값을 보이는

것으로 판단된다(박관수·이승우, 2000; 이수욱, 1985). 모든 고속도로에서 절토비탈면에서의 토양 중 pH는 자연식생지에서 보다 높은 값을 보이고 있으며, 이 같은 결과는 고속도로 절토 비탈면에서 낮은 유기물함량으로 인해 유기산의 투입이 적었기 때문으로 사료된다.

결론적으로 자연식생지에 비해 고속도로 절토 비탈면에서 토양의 유기물 및 질소함량이 낮고 pH가 높게 나타난 것은 공사 시 비탈면 절개로 인한 토양 중 유기물 및 질소 등의 유실 때문으로 판단되며, 또한 공사 후 식생의 성립이 열악하여 유기물의 공급이 매우 적었기 때문으로 판단된다.

IV. 결 론

고속도로 절토 비탈면 토양의 단면 및 이화학적 환경에 대한 조사를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 각 고속도로의 자연식생지와 비교하여 절토 비탈면 토양의 전토심, 용적밀도, 그리고 견밀도 등 토양의 물리적 특성은 매우 나쁘게 나타나서 식물체 성장에 많은 장애를 줄 것으로 사료된다. 이 같은 결과는 비탈면 절개로 인한 토양층의 유실이 가장 큰 원인으로 판단되며, 또한 공사 후 식생의 성립이 열악하여 토양의 물리적 특성에 가장 큰 영향을 주는 유기물의 공급이 매우 적었기 때문으로 판단된다.

식물체 양분 공급에 가장 중요한 토양 중 유기물 및 질소는 매우 적은 수준으로 나타났으며 양분 공급 차원에서 개선되어야 할 것으로 판단된다. 이 같은 결과는 절개지 공사로 인한 유기물의 유실 및 식생에 의한 유기물의 공급이 적었기 때문으로 판단된다. 치환성 양이온들의 경우 각 고속도로별로 자연식생지와 절토비탈면간에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 토양 pH는 절토비탈면에서 약산성이나 중성으로 나타났으며 자연식생지에서 높은 것으로 나타났다. 이 결과 또한 절토비탈면에서 낮은 유

기물함량으로 인해 유기산의 생성이 적었기 때문으로 판단된다.

결론적으로 자연식생지에 비해 고속도로 절토 비탈면에서 토양의 이화학적 특성은 매우 열악한 수준으로 나타났으며, 이를 개선하기 위해 절토 비탈면 공사 시 토양층의 보존을 위한 가능한 모든 방법이 동원되어야 하며, 부가적으로 퇴비 및 시비처리와 같은 방법을 통해 토양 중 유기물 및 양분 함량을 높이는 방안이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

- 김남춘·허영진·김정훈. 2005. 환경친화적인 도로비탈면 훼손지 복원을 위한 적정 식물배합에 관한 연구 -생육보조제 취부 공법을 중심으로-. 환경복원녹화 8(4) : 81-90.
- 남상준·여환주·최재용·김남춘. 2004. 산림포충토를 활용한 비탈면 생태복원녹화에 관한 연구. 환경복원녹화 7(4) : 110-119.
- 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법. 농촌진흥청. pp.202.
- 박관수. 2003. 광양, 평창, 영동 지역 신갈나무 임분의 현존생물량 및 순생산량. 한국임학회지 92(6) : 567-574.
- 박관수·송호경·권기원. 2000. 충주지역의 작나무와 가래나무 조림지의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 89(2) : 249-255.
- 박관수·이승우. 2000. 산화에 의한 토양특성 변화에 관한 연구. 충남대학교 농업과학연구소 27(2) : 95-100.
- 이수욱. 1985. 강원도산 소나무천연림생태계의 Biomass 및 Net Primary Production에 관한 연구. 한국임학회지 71 : 74-81.
- 조성진·박천서·엄대익. 1985. 토양학. 향문사. pp.396.
- 진현호·이명중·신영오·김연제·전상근. 1994. 산림토양학. 향문사. pp.325.

Brady, N. C. 1990. The nature and properties of soils. MacMillan Publishing Company. pp.621.

McLaren, R. G., and K. C. Cameron. 1996. Soil Science. Oxford University Press. pp.304.

Miller, R. W., and R. L. Donahue. 1990. Soil. An

introduction to soils and plant growth. Prentice-Hall. pp.768.

Pritchett, W. L., and R. F. Fischer. 1987. Properties and management of forest soils. John Wiley & Sons. pp.494.