

산림생태계 훼손 유형별 표토의 이화학적 특성 비교^{1a}

김원태^{2*}

Compare Physicochemical Properties of Topsoil from Forest Ecosystems Damage patterns^{1a}

Won-Tae Kim^{2*}

요약

본 연구에서는 산림생태계 훼손 유형별 표토의 이화학적 특성 비교와 식재기반 조성 재료로서의 활용 여부를 평가하였다. 표토는 산림생태계 훼손 유형별 훼손지역 12개 지역, 36개 지점과 각 훼손지 주변에 위치한 자연지역 12개 지역, 36개 지점, 총 72개 지점에서 채취하여 분석하였다. 분석 결과, 자연지역의 토성은 식양토~사양토, 용적밀도는 0.95~1.10 Mg/m³, 고상률은 35.7~44.0 m³/m³, 공극률은 56.0~64.3 m³/m³, 내수성입단율은 8.4~35.8%, 토양경도는 5~13 mm, 토양산도는 5.3~6.1, 전기전도도는 0.14~0.65 dS/m, 전질소량은 0.28~0.42%, 양이온치환용량은 14~22 cmol⁺/kg, 치환성칼륨함량은 0.15~0.31 cmol⁺/kg, 치환성칼슘함량은 2.07~2.84 cmol⁺/kg, 치환성마그네슘함량은 0.45~1.97 cmol⁺/kg, 유효인산함량은 17~96 mg/kg, 유기물함량은 3.2~5.6%의 범위를 나타냈으며, 훼손지역의 토성은 식양토~양질사토, 용적밀도는 1.54~1.75 Mg/m³, 고상률은 52.8~58.0 m³/m³, 공극률은 42.0~47.2 m³/m³, 내수성입단율은 4.2~22.5%, 토양경도는 13~25 mm, 토양산도는 4.8~5.5, 전기전도도는 0.13~0.62 dS/m, 전질소량은 0.02~0.12%, 양이온치환용량은 5~15 cmol⁺/kg, 치환성칼륨함량은 0.11~0.18 cmol⁺/kg, 치환성칼슘함량은 0.45~2.36 cmol⁺/kg, 치환성마그네슘함량은 0.39~0.96 cmol⁺/kg, 유효인산함량은 15~257 mg/kg, 유기물함량은 0.4~2.2%의 범위를 나타냈다. 자연지역과 훼손지역 표토의 이화학적 특성 비교를 통해 훼손지역 표토가 자연지역 표토에 비해 이화학적 특성이 악화되었음을 확인할 수 있었다. 이에 향후 표토 재활용을 위한 보전 및 관리 대책이 필요한 것으로 판단되었다.

주요어: 보전, 관리, 식재기반, 재활용, 토양개량

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the physicochemical properties of different types of topsoil in forest ecosystems by damage pattern and analyse the possibility of using the topsoil as a planting ground construction material. There were 72 samples from 36 sites of 12 damaged areas and 36 sites of 12 non-damaged areas. The results showed that the physicochemical properties of topsoil from non-damaged areas of forest ecosystems were on an average clay loam~sandy loam in soil texture, showing 0.95~1.10 Mg/m³ in soil bulk density, 35.7~44.0 m³/m³ in solid phase, 56.0~64.3 in soil porosity, 8.4~35.8% in aggregate stability, 5~13 mm in soil hardness, 5.3~6.1 in pH, 0.14~0.65 dS/m in EC, 0.28~0.42% in T-N, 14~22 cmol⁺/kg in CEC, 0.15~0.31 cmol⁺/kg in Ex. K⁺, 2.07~2.84 cmol⁺/kg in Ex. Ca²⁺, 0.45~1.97 cmol⁺/kg in Ex. Mg²⁺, 17~96 mg/kg in Av. P₂O₅ and 3.2~5.6% in OM. On the other hand, damaged areas were on an average clay loam~loamy sand in soil texture,

1 접수 2015년 11월 16일, 수정 (1차: 2015년 11월 25일), 게재확정 2015년 11월 26일

Received 16 November 2015; Revised (1st: 25 November 2015); Accepted 26 November 2015

2 천안연암대학 환경조경과 Dept. of Landscape Architecture, Cheonam Yonam College, Cheonam 31005, Korea

a 이 논문은 환경부의 환경산업선진화기술개발사업(과제번호: 2014000130009)에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-41-580-1171, Fax: +82-41-580-1267, E-mail: wtkim@yonam.ac.kr

showing 1.54~1.75 Mg/m³ in soil bulk density, 52.8~58.0 m³/m³ in solid phase, 42.0~47.2 in soil porosity, 4.2~22.5% in aggregate stability, 13~25 mm in soil hardness, 4.8~5.5 in pH, 0.13~0.62 dS/m in EC, 0.02~0.12% in T-N, 5~15 cmol⁺/kg in CEC, 0.11~0.18 cmol⁺/kg in Ex. K⁺, 0.45~2.36 cmol⁺/kg in Ex. Ca²⁺, 0.39~0.96 cmol⁺/kg in Ex. Mg²⁺, 15~257 mg/kg in Av. P₂O₅ and 0.4~2.2% in OM. After conducting a comparison of physicochemical characteristics of non-damaged forest area and damaged areas, it was found that the physicochemical characteristics of damaged areas were more deteriorated compared to that of non-damaged areas. Therefore, it is judged that it is necessary to establish countermeasures for the conservation and management of the damaged areas for topsoil recycling in the future.

KEY WORDS: CONSERVATION, MANAGEMENT, PLANTING SOIL, RECYCLE, SOIL IMPROVEMENT

서론

토양은 건강한 생태계의 동식물 서식기반이며, 이중 표토는 토양의 표면에 위치하는 A층으로서, 유기물함량이 높아 암색을 띠며, 식물이 흡수 이용하는 대부분의 양분과 수분을 저장·공급하는 부위이다. 따라서 표토의 특성과 토심은 토양의 생산성과 밀접한 관계가 있다(Yoo, 2000). 또, 건강한 토양은 유기물을 많이 함유하고 안정된 토양입단을 형성하여 강우 시에도 안정된 구조를 유지함으로써 잘 유실되지 않고, 강우의 침투를 용이하게 할 뿐만 아니라 안정된 구조 속에 탄소를 오랫동안 저장 보호함으로써 대기 중 이산화탄소량을 저감시키는 데에도 크게 기여한다(Park *et al.*, 2008).

그러나 우리나라의 경우 건설공사 중 발생하는 표토를 수거·보전하지 않고, 부지정지를 수행한 후 그 위에 건축물 혹은 시설물을 짓고, 표토의 문제는 최종적으로 식재 단계에서나 고려되나 양호한 표토가 이미 소실된 상태이므로 식재기반의 조성을 위해 최소한 별도의 객토를 행하는 형편이다. 이러한 이행이 지속되는 이유는 표토의 재활용이 자연 자원으로서의 가치보다는 경제적 비용으로 인식되고 있으며, 표토 관리에 대한 제도가 아직까지 갖추어져 있지 않고, 현장별 토양특성에 대한 자료가 부족하며, 표토의 중요성에 대한 인식이 부족하고, 인식이 있더라도 공정 전체에서 표토 관리를 행할 책임의 소재가 불분명하며, 공정간 조정이 이루어지지 못하기 때문인 것으로 판단된다(Cho and Kim, 2000; Kim *et al.*, 2012; Lee, 2013). 이처럼 표토가 무분별한 조치로 소실되거나 기타 이유로 그 상태가 훼손된 후 이를 재생하기 위해서는 장기간에 걸친 노력과 많은 경비가 소요된다.

따라서 본 연구에서는 산지 개발사업으로 인해 발생되어 현장에 방치되거나 폐기되고 있는 표토를 해당 훼손지역의 식재기반 재료로 재활용하는 기술을 확립하고자 산림생태

계 훼손 유형별 표토의 이화학적 특성 비교와 식재기반 조성 재료로서의 재활용 여부를 평가하였다.

연구범위 및 방법

1. 연구범위

본 연구는 2014년 10월~12월 현장 조사로부터 시작되었으며, 조사대상지는 충남(공주시, 보령시, 부여군, 예산군, 청양군, 홍성군) 일원으로 한정하였다.

한편, 연구의 내용적 범위는 조사대상지 내에서 산림생태계 훼손 유형별로 등산로, 과수원(밤나무림), 밭, 채석장으로 구분하고, 다시 훼손 유형 내에서 훼손지역(Damaged area)과 훼손지역 주변에 위치한 자연지역(Non-damaged area)으로 세분하여 표토를 채취하여 이화학적 특성을 조사하였고, 식재기반 조성 재료로서의 재활용 가능성을 평가하였다(Table 1).

Table 1. Survey area on the forest damage patterns

Damage patterns	Survey area	
	Damaged area	Non-damaged area
Mountain trail	Sudeoksa-ro, Deoksan-myeon, Yesan-gun	
	Guseongbuk-ro, Guhang-myeon, Hongseong-gun Chilgapsan-ro, Daechi-myeon, Cheongyang-gun	
Orchard	Gosangol-gil, Hwaseong-myeon, Cheongyan-gun	
	Geobungmoe-ro, Hongsan-myeon, Buyeo-gun Jeonganmagoksa-ro, Jeongan-myeon, Gongju-si	
Field	Oesan-ro, Oesan-myeon, Buyeo-gun	
	Dohwadam-gil, Misan-myeon, Boryeong-si Chilgapsan-ro, Daechi-myeon, Cheongyang-gun	
Quarry	Dohwadam-gil, Misan-myeon, Boryeong-si	
	Sangcheon-ro, Hongsan-myeon, Buyeo-gun Wangchon-gil, Gyeryong-myon, Gongju-si	

Table 2. Classification of planting guideline

Division	High class	Middle class	Low class	Poor class
Soil porosity(m ³ /m ³)	0.6 over	0.5~0.6	0.4~0.5	0.4 below
Soil hardness(mm)	21 below	21~24	24~27	27 over
Soil acidity	6.0~6.5	5.5~6.0 6.5~7.0	4.5~5.5 7.0~8.0	4.5 below 8.0 over
Electrical conductivity(dS/m)	0.2 below	0.2~1.0	1.0~1.5	1.5 over
Organic matter(%)	5.0 over	3.0~5.0	3.0 below	
Total nitrogen(%)	0.12 over	0.06~0.12	0.06 below	
Cation exchange capacity(cmol ⁺ /kg)	20 over	6~20	6 below	
K ⁺ (cmol ⁺ /kg)	3.0 over	0.6~3.0	0.6 below	
Ca ²⁺ (cmol ⁺ /kg)	5.0 over	2.5~5.0	2.5 below	
Mg ²⁺ (cmol ⁺ /kg)	3.0 over	0.6~3.0	0.6 below	
Available phosphate(mg/kg)	200 over	100~200	100 below	

Source: KILS(2013)

2. 연구방법

표토는 Table 1에 나타난 산림생태계 훼손 유형별 훼손 지역 12개 지역, 36개 지점과 각 훼손지 주변에 위치한 자연 지역 12개 지역, 36개 지점에서 조사하였으며, 표토 조사지역에서 채취한 총 72점의 표토 시료를 대상으로 토양 및 식물체 분석법(RDA, 2000)에 따라 토성, 용적밀도, 고상률, 공극률, 내수성입단율, 토양경도, 토양산도(pH), 전기전도도(EC), 유기물함량(OM), 전질소량(T-N), 양이온치환용량(CEC), 치환성양이온함량(Ex. cations), 유효인산함량(Av.P₂O₅)의 토양 이화학적 특성을 분석하였다.

한편, 표토의 식재기반 조성 재료로서의 재활용 가능성 평가는 조정설계기준(KILS, 2013)의 식재기반 조성 및 정비를 위한 토양평가기준에 따라 평가하였다(Table 2).

결과 및 고찰

1. 표토의 이화학적 특성

1) 표토의 물리적 특성

산림생태계 훼손 유형별 자연지역 및 훼손지역 표토의 물리적 특성은 Table 3에 나타난 바와 같으며, 훼손 전에 해당하는 자연지역의 토성은 식양토~사양토, 용적밀도는 0.95~1.10 Mg/m³, 고상률은 35.7~44.0 m³/m³, 공극률은 56.0~64.3 m³/m³, 내수성입단율은 8.4~35.8%, 토양경도는 5~13 mm의 범위를 나타냈다.

한편, 훼손지역의 토성은 식양토~양질사토, 용적밀도는 1.54~1.75 Mg/m³, 고상률은 52.8~58.0 m³/m³, 공극률은 42.0~47.2 m³/m³, 내수성입단율은 4.2~22.5%, 토양경도는 13~25 mm의 범위를 나타냈다.

이와 같이 훼손 전·후 표토의 물리적 특성을 비교한 결과, 훼손 전인 자연지역에 비해 훼손지역에서 공극률(평균 26%), 내수성입단율(평균 60%)은 감소하였고, 토성 중 모래함량(평균 24%), 용적밀도(평균 61%), 고상률(평균 38%), 토양경도(평균 119%)는 증가하여 표토의 물리성이 악화된 것으로 판단되었다.

특히 자연지역 표토의 모래함량에 비해 훼손지역 표토의

Table 3. Physical properties of survey area in this study

Division	Soil texture	Bulk density (Mg/m ³)	Solid phase (m ³ /m ³)	Soil porosity (m ³ /m ³)	Aggregate stability (%)	Soil hardness (mm)	
Mountain trail	Non-damaged area	SCL	0.95	37.4	62.6	35.8	13
	Damaged area	LS	1.75	58.0	42.0	4.2	23
Orchard	Non-damaged area	SL	1.10	44.0	56.0	8.4	5
	Damaged area	SL	1.62	54.9	45.1	6.8	13
Field	Non-damaged area	CL	0.98	35.7	64.3	27.6	13
	Damaged area	SL	1.54	52.8	47.2	5.9	18
Quarry	Non-damaged area	CL	1.05	43.4	56.6	26.6	5
	Damaged area	CL	1.65	55.9	44.1	22.5	25

모래함량 증가는 산지 개발사업 시 표토 관리 소홀로 인해 표토에 심토가 혼입되었거나 또는 기존 표토에 비해 모래함량이 많은 외부 토양의 객토에 의한 결과라고 추정되며, 산지 개발지역 15개소 및 하천 개발지역 5개소의 개발 전·후 토양특성을 분석한 Lee(2013)의 연구 결과와도 유사한 경향을 나타내어 건설공사에서 발생하는 표토를 보전·관리하기 위한 대책 마련이 필요한 것으로 판단되었다.

2) 표토의 화학적 특성

산림생태계 훼손 유형별 자연지역 및 훼손지역 표토의 화학적 특성은 Table 4에 나타난 바와 같으며, 훼손 전에 해당하는 자연지역의 토양산도는 5.3~6.1, 전기전도도는 0.14~0.65 dS/m, 전질소량은 0.28~0.42%, 양이온치환용량은 14~22 cmol⁺/kg, 치환성칼륨함량은 0.15~0.31 cmol⁺/kg, 치환성칼슘함량은 2.07~2.84 cmol⁺/kg, 치환성마그네슘함량은 0.45~1.97 cmol⁺/kg, 유효인산함량은 17~96 mg/kg, 유기물함량은 3.2~5.6%의 범위를 나타냈다.

한편, 훼손지역의 토양산도는 4.8~5.5, 전기전도도는 0.13~0.62 dS/m, 전질소량은 0.02~0.12%, 양이온치환용량은 5~15 cmol⁺/kg, 치환성칼륨함량은 0.11~0.18 cmol⁺/kg, 치환성칼슘함량은 0.45~2.36 cmol⁺/kg, 치환성마그네슘함량은 0.39~0.96 cmol⁺/kg, 유효인산함량은 15~257 mg/kg, 유기물함량은 0.4~2.2%의 범위를 나타냈다.

이와 같이 훼손 전·후 표토의 화학적 특성을 비교한 결과, 훼손 전인 자연지역에 비해 훼손지역에서 양분의 공급원이며, 분해를 통해 토양구조 개선에도 기여할 수 있는 유기물함량(평균 75%)의 감소로 인해 토양 비옥도의 저하뿐만 아니라 표토의 물리적 특성이 개선될 가능성도 없는 것으로 판단되었다.

2. 표토의 식재기반 재료로서의 재활용 가능성 평가

조경설계기준(KILS, 2013)의 식재기반 조성 및 정비를

위한 토양평가기준(Table 2)에 따라 조사대상지 표토의 식재기반 조성 재료로서의 재활용 가능성을 평가한 결과, 등산로 주변 자연지역 표토의 토양등급은 공극률, 토양경도, 전질소량이 상급, 토양산도, 전기전도도, 유기물함량, 양이온치환용량, 치환성칼슘함량, 치환성마그네슘함량이 중급, 치환성칼륨함량, 유효인산함량이 하급으로 평가되었으며, 훼손지역 표토의 평가등급은 토양경도, 전기전도도, 전질소량, 양이온치환용량이 중급, 공극률은 비롯한 나머지 항목은 하급으로 평가되었다.

과수원(밤나무림) 주변 자연지역 표토의 토양등급은 토양경도, 전기전도도가 상급, 공극률, 유기물함량, 전질소량, 양이온치환용량, 치환성마그네슘함량이 중급, 치환성칼륨함량, 치환성칼슘함량, 유효인산함량이 하급으로 평가되었으며, 훼손지역 표토의 토양등급은 토양경도, 전기전도도가 상급, 양이온치환용량이 중급, 공극률을 비롯한 나머지 항목은 하급으로 평가되었다.

밭 주변 자연지역 표토의 토양등급은 공극률, 토양경도, 토양산도, 유기물함량, 전질소량, 양이온치환용량이 상급, 전기전도도, 치환성마그네슘함량이 중급, 치환성칼륨함량, 치환성칼슘함량, 유효인산함량이 하급으로 평가되었으며, 훼손지역 표토의 토양등급은 토양경도, 전질소량, 유효인산함량이 상급, 양이온치환용량, 치환성마그네슘함량이 중급, 공극률을 비롯한 나머지 항목이 하급으로 평가되었다.

채석장 주변 자연지역 표토의 토양등급은 토양경도, 전기전도도, 전질소량이 상급, 토양산도, 유기물함량, 양이온치환용량, 치환성칼슘함량, 치환성마그네슘함량이 중급, 치환성칼륨함량, 유효인산함량이 하급으로 평가되었으며, 훼손지역 표토의 토양등급은 전기전도도가 상급, 치환성마그네슘함량이 중급, 공극률을 비롯한 나머지 항목은 하급으로 평가되었다.

한편, 우리나라 농경지 화학성 적정 범위(RDA, <http://soil.rda.go.kr>)와 임야 화학성 평균값(KFS, <http://www.forest.go.kr>)을 토대로 Gang(2013)이 제안한 표토의 적합

Table 4. Chemical properties of survey area in this study

Division	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-N (%)	CEC (coml ⁺ /kg)	Ex. Cation (coml ⁺ /kg)			Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	OM (%)	
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺			
Mountain trail	Non-damaged area	5.5	0.64	0.28	18	0.16	2.84	0.73	17	3.2
	Damaged area	5.2	0.62	0.08	6	0.11	1.24	0.45	15	1.6
Orchard	Non-damaged area	5.3	0.58	0.38	14	0.31	2.07	1.97	96	4.5
	Damaged area	4.8	0.14	0.07	11	0.18	0.57	0.43	15	1.2
Field	Non-damaged area	6.1	0.65	0.42	22	0.27	2.27	1.27	72	5.6
	Damaged area	5.5	1.01	0.12	12	0.15	2.36	0.96	257	2.2
Quarry	Non-damaged area	5.5	0.14	0.32	16	0.15	2.51	0.65	33	4.5
	Damaged area	5.0	0.13	0.02	5	0.13	0.45	0.39	30	0.4

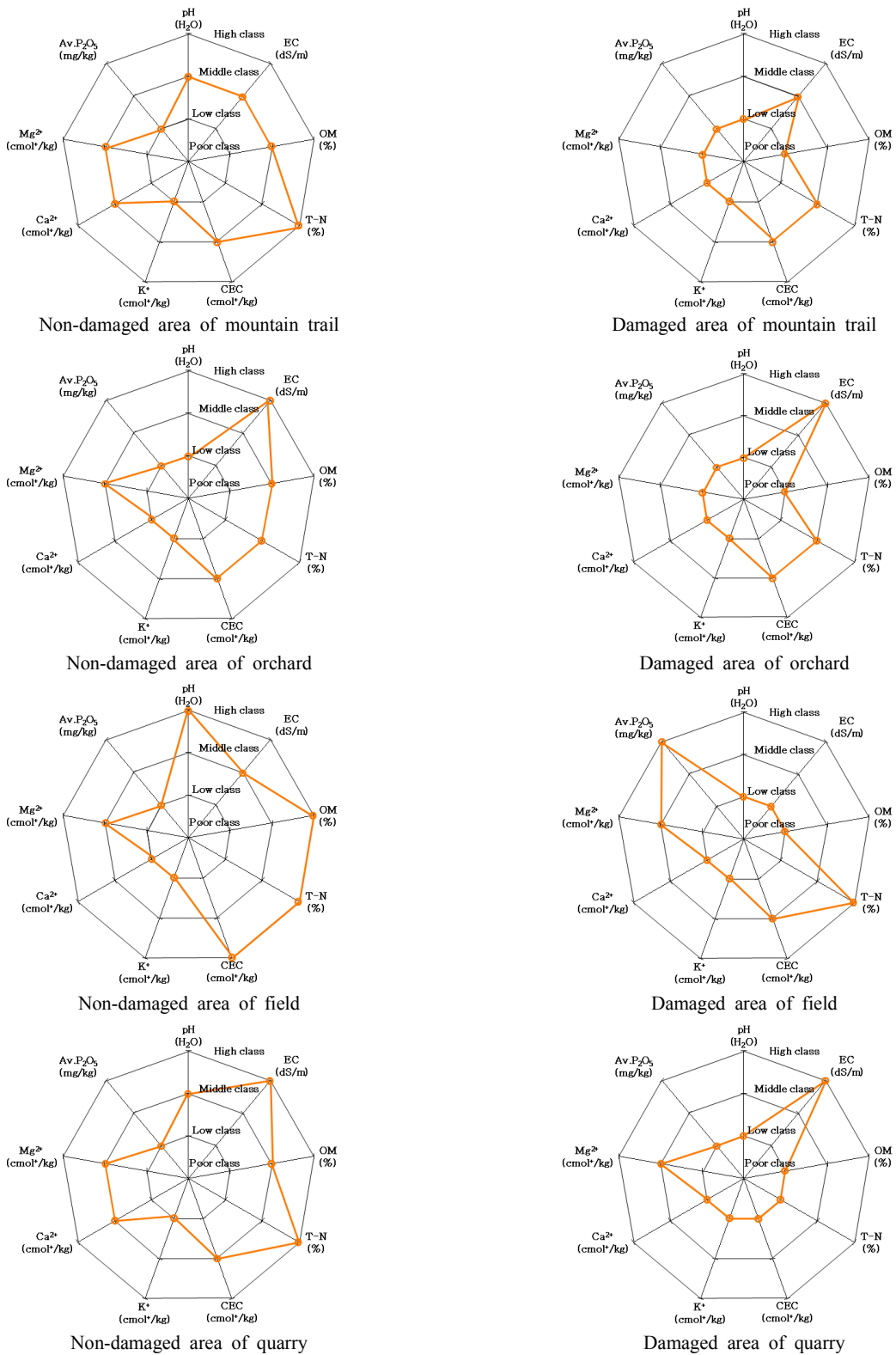


Figure 1. Planting class of survey area in this study

성 판단기준, 건설환경관리 표준시방서(MOCT, 2004) 및 한국토지주택공사의 전문시방서(LH, 2012)에서 제시한 표토의 적합성 판단기준과 본 연구를 비교한 결과, 등산로, 밭, 채석장 자연지역의 경우 토양산도, 유기물함량, 전기전도도가 표토의 적합성 판단기준에 부합되었으나 훼손지역의 경우 전기전도도만 유일하게 표토의 적합성 판단기준에 부합되었다. 또, 과수원 자연지역의 경우 유기물함량, 전기전도도가 표토의 적합성 판단기준에 부합되었으나 훼손지역의 경우 전기전도도만 표토의 적합성 판단기준에 부합되었다.

이상과 같이 표토의 식재기반 재료로서의 재활용 평가 결과, 조사대상지별로 평가기준 미달 항목, 즉 하급내지는 불량 항목에 대해서는 해당 평가기준에 적합하도록 개량하거나 적합한 토양으로 치환하여 식재용으로 재활용해야 할 것으로 판단되었다.

REFERENCES

- Cho, Y.H. and G.S. Kim(2000) A preliminary study on application of alluvial deposit in the Han river for planting soil. The Korea Society of Environmental Restoration Technology 3(4): 60-73.(in Korean with English abstract)
- Kang, C.H(2013) A study on the introduction of conservation of top soil into the environmental assessment system. Ph. D. Diss., Univ. of Kwngwoon, Seoul, Korea, 76-79.(in Korean with English abstract)
- Kim, W.T., Y.H. Yoon, Y.H. Cho, H.K. Kang, B.J. Park, J.K. Shin, Y.J. Eo, T.S. Yoon, K.E. Jang, M.Y. Kwak and H.S. Song(2012) Comparison of physicochemical properties of topsoil from forest development and non-development area. Journal of the Environmental Sciences 21(11): 1389-1394.(in Korean with English abstract)
- Korea Forest Service(2015) <http://www.forest.go.kr/>
- Korea Land and Housing Corporation(2012) Landscape Construction Standard. LH Corporation Press, Seoul, Korea, 412.(in Korean)
- Lee, J.M(2013) A study on topsoil management practices in development projects. M. S. Diss., Univ. of Kongju, Gongju, Korea, 109-116.(in Korean with English abstract)
- Ministry of Construction and Transportation(2004) Construction Environmental Management Standard. Press, Seoul, Korea, 34.(in Korean)
- Park, E.J., K.Y. Kang and S.R. Yi(2008) The status of soil exposure and management practices for soil conservation in urban watersheds. Gyeonggi Research Institute 2008-06: 3-22.(in Korean with English abstract)
- Rural Development Administration(2000) Soil and Plant analysis method. Rural Development Administration, Suwon, Korea, 113-119.(in Korean)
- Rural Development Administration(2015) <http://soil.rda.go.kr/>
- The Korean Institute of Landscape Architecture(2013) Landscape Design Standard. Kimoondang Press, Seoul, Korea, 436.(in Korean)
- Yoo, S.H.(2000) Soil dictionary. Seoul National University Press, Seoul, Korea, 369.(in Korean)