Jour. Korean For. Soc. Vol. 97, No. 6, pp. 589~596 (2008)

한국임학회지

JOURNAL OF KOREAN FOREST SOCIETY

산림 토양의 이화학적 성질과 낙엽송 임분의 지위지수와의 관계

박남창[1] · 이광수[1] · 박문섭[1] · 신현철[1] · 전권석[1] · 정수영[2]*

[1]국립산림과학원 남부산림연구소, [2]경상대학교 농업생명과학대학 학술림

Relation of the Physico-chemical Properties of Forest Soil to Site Indices of *Larix leptolepis* Stands

Nam-Chang Park[1], Kwang-Soo Lee[1], Mun Sueb Park[1], Hyeon Chul Shin[1], Kwon Seok Jun[1] and Su-Young Jung[2]*

[1]Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea
[2]The Research Forests, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

요 약: 우리나라 주요 수종인 낙엽송 임분의 80개 표준지를 대상으로 산림토양의 이화학적 성질 13개 요인에 의하여 지위지수를 추정함으로써 조림예정지, 수종갱신지 등의 미립목지에 대한 낙엽송 임분의 적지를 파악하고자 하였다. 단계별 회귀분석법에 의한 지위지수 추정 결과와 임목생장과 토양의 이화학적 성질과의 관계를 요약하면 다음과 같다. 토양의 이화학적 성질이 지위지수 추정식에 미치는 영향으로 토양산도 및 전질소 인자는 대체적으로 정의 상관으로 나타났으며, 유기물 및 유효인산은 부의 관계로 나타났다. 지위지수 추정식에서 인자별 기여도를 분석하기 위하여 표준편회귀계수를 구하여 기여도가 높은 인자를 분석한 바, 낙엽송 임분 토양 A층에서는 염기포화도, 양이온 치환용량, 모래, 치환성 칼슘, 치환성 마그네슘 인자 순으로, 낙엽송 임분 토양 B층에서는 치환성 칼슘, 염기포화도, 전질소, 유효인산, 점토 인자 순으로 나타났다. 한편 낙엽송 임분에서 토양 인자별 A, B층에서 공통적으로 기여도가 높은 인자는 치환성 칼슘과 염기포화도로 주로 나타났다. 이러한 연구결과는 미립목지에서 낙엽송림의 적지를 판별하는데 그 활용가치 및 기대효과가 높을 것이라 사료된다.

Abstract: This study was carried out in order to estimate site indices in *un-stocked land* by the physico-chemical properties of forest soil and to investigate the distribution of the physico-chemical properties by soil horizons. In *Larix leptolepis* Gordon stand, 80 sites were selected respectively to A and B horizon in soil. About the analysis method of data there was used stepwise regression analysis. Soil pH and T.N. of the physico-chemical properties turned out to be positively related to the site index. However, O.M. and Avail. P_2O_5 in soil were found out negatively related. In the degree of contribution of the variables to site index by each one of the stands, the highly effective variables were Base Sat., C.E.C., Sand, Exch. Ca^{++}, and Exch. Mg^{++} in A horizon, Exch. Ca^{++}, Base Sat., T.N., Avail. P_2O_5, and Clay in B horizon, and Exch. Ca^{++} and Base Sat. in both of A and B horizon. In conclusion, these results will provide not only the important criteria for establishment of management forest plan in un-stocked land but also the useful guidance for selecting the suitable sites and trees.

Key words **:** *forest soil, site index, soil chemical property, soil physical property,* Larix leptolepis

서 론

지속가능한 생태계안정성 유지, 기후변화의 효율적이며 근본적 대책 및 고품질 목재생산 등은 산림이 가지고 있는 고유한 기능이며, 또한 가장 가치 있는 자연자원특성이다(Kochi and Brang, 2005). 이러한 산림이 가지고 있는 기능 및 가치를 최대화하기 위해서는 임목의 생육환경을 정확히 파악하여 적지적수를 선정한 후 이를 조림하여 건전한 임분 조성 및 생태계를 유지하는 것이 그 무엇보다도 우선되어야 한다. 임목의 생육에 관계하는 환경인자란 기상적 인자, 생물적 인자, 토양적 인자 등으로 크게 구분할 수 있으며, 이들과 관련된 제반 환경인자는 서로 직·간접적으로 유기적인 관계를 유지하면서 임목생장에 영향을 미치고 있다.

*Corresponding author
E-mail: forjusy@dreamwiz.com

한편 적지적수를 선정함에 있어서 가장 중요시됨과 동시에 임지 생산능력의 판정 기준이 되는 지위지수는 임업경영에 대한 의사 결정과 산림자원경영계획 수립 단계에서 중요한 역할을 하며, 임지의 생산능력을 향상시켜 임업경영을 합리화하는데 크게 기여한다. 이러한 지위지수는 현재 우리나라의 주요수종에 대하여 성림지에서는 이미 지위지수 분류표가 작성되어 있다. 산림의 환경인자 중 토양인자에 의한 지위지수 추정 방법으로는 토양의 물리적 성질과 입지인자에 의하여 지위지수를 추정한 것이 대부분이었으며(鄭印九, 1978; Herman *et al*., 1978; 山林資源調査所, 1970), 鄭印九(1981)는 토양의 이화학적 성질 중 화학적 성질이 물리적 성질 못지않게 임목생장에 중요한 요인이 된다는 것을 입증한 바 있다. 하지만 미립목지에 있어서 간접적인 지위지수 사정방법인 수고에 의한 지위지수 추정은 그 적용이 어려운 것으로 인식되어 왔다. 단지 이에 대한 직접적인 지위지수 사정방법으로 현재까지는 임목의 생육환경 인자인 토양인자, 즉 토양의 물리적 성질 및 입지인자에 의하여 임목생장과 지위지수를 추정할 수 있는 연구가 부분적으로 실시되어 왔다. 한편 Klock *et al*.(1984)은 임목생장에 관계하는 환경 인자를 내적 인자와 외적 인자로 크게 구분하여, 그 중 내적 인자에서 토양의 이화학적 성질이 임목생장에 주된 영향요인이라고 하였다. 특히 鄭印九(1981)는 토양의 물리적 성질이 임목생장에 미치는 영향이 크지만 토양의 화학적 성질도 매우 중요한 임목생장 요인이 된다는 것을 입증한 바 있다. 또한 토양의 이화학적 성질에 의한 지위지수 추정에 있어서 Broadfoot(1969)는 활엽수림에 대한 지위지수를 추정하기 위하여 토양의 이화학적 성질에 의한 각 수종별 추정식을 유도하였다. 또한 Alban(1974)은 *Pinus resinosa* 임분의 토양 층위별 이화학적 성질인 질소, 인산, 카리, 마그네슘, 양이온 치환용량, 미사와 점토 등의 인자에 의하여 지위지수 추정식을 유도한 바 있다. 이와 같이 선진임업국에서의 조림 및 이와 관련된 연구는 이미 그 역사가 오래되었으며, 이러한 성공적인 조림은 미립목지에서 토양의 성질을 사전에 다각적으로 분석하여 적지적수의 개념이 적용된 결과인 것이다.

하지만 우리나라의 경우 과거 적지적수의 판정이 부족한 상황에서 단기간에 연료림 조성 및 치산녹화의 목적으로 무립목지에 조성되었던 임분이 현재에 이르러 그 생장편차가 심하여 입목축적 및 산지자원화이용 효율 측면에서 선진임업국 수준에도 달하지 못하고 있다. 수종갱신이 요구되어지는 현재 시점에서 미립목지 및 조림대상지의 토양성분을 분석하여 판정절차를 거쳐 조림 적지에 임분을 조성할 때 이에 따른 대상지역의 산지이용효율성 증대 및 합리적인 산지자원화 가치를 높일 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 기 조성된 낙엽송 임분의 생장차이를 토양의 이화학적 성질 및 그 특성에 의하여 분석함으로써 수종갱신지 및 조림예정지 등의 미립목지 토양특성에 따른 낙엽송 임분의 적지를 구명하고자 하였다. 이를 위하여 주요 침엽수종인 낙엽송 임분 내 산림토양의 이화학적성질을 설명변수로 하는 지위지수 추정식을 도출하고, 향후 이러한 토양특성에 따른 미립목지에서의 낙엽송림의 적지를 판정하고 향후 산지자원화 이용가치를 최대로 하는데 그 목표를 두었다.

재료 및 방법

1. 조사지의 선정

조사지는 중부 지방에 분포하고 있는 낙엽송 임분에서 임목생육상태가 건전하고 1 ha이상의 면적을 차지하며, 척박지로부터 우량임지에 걸쳐 생육하고 있는 임분을 선정하였다. 선정된 임분에서 산림토양의 이화학적 성질을 측정하기 위하여 표준지를 설정하고, 표준지의 토양을 A층과 B층으로 구분하여 1 kg의 토양시료를 채취하였으며, 임분 조사구는 낙엽송 임분 토양 A, B층에서 각각 80개소를 선정하였다. 조사지역은 Figure 1과 같으며, 조사지역

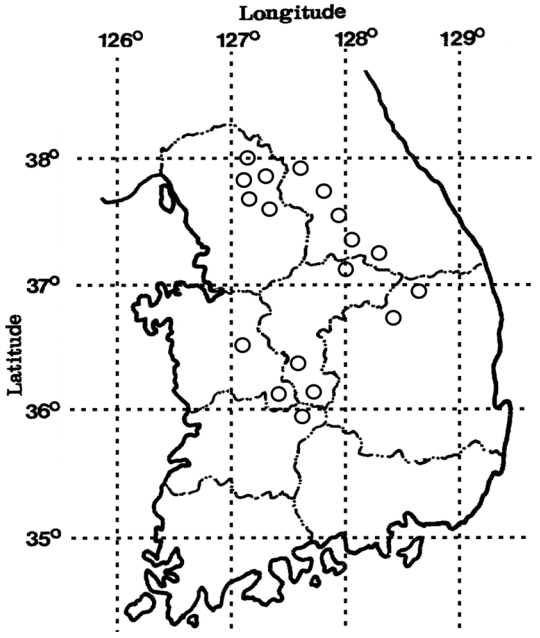

Figure 1. Location map of surveyed sites.
Note) ○ : *Larix leptolepis* stand

Table 1. The stand characteristics surveyed by horizons in soil.

Stand	Soil horizon	Age	Height (m)	DBH (cm)	Site index
Larix leptolepis stand	A	25	16.5	15.8	14.8
		15–60	12.0–25.8	10–36	13.5–16.0
	B	25	16.5	15.8	14.8
		15–60	12.3–25.4	10–26	13.5–16.5

Table 2. Distribution of plots by site indices.

Site Index	Number of sample plots in *Larix leptolepis* stand classified by soil horizon	
	A	B
13.5	2	2
14.0	16	12
14.5	18	25
15.0	25	26
15.5	15	9
16.0	4	3
16.5	-	3
Total	80	80

Table 1에서 낙엽송 임분 영급은 II영급에서 VII영급의 범위에 분포하며, 평균 III영급으로 나타났다. 우세목의 평균수고는 임분 토양 A, B 층에서 16.5 m로 높게 나타났다.

2. 지위지수 사정

산림토양의 이화학적 성질에 따라 조사대상 임지의 지위지수를 추정하기 위하여 유령임분에서 20 m×25 m=0.05 ha, 장령림에서는 40 m×40 m=0.16 ha의 조사구를 선정하였다. 선정된 조사구내의 임분에 대한 지위지수 사정은 우세목 평균수고와 평균수령을 조사한 후 지위지수분류곡선을 이용하여 20년생 평균수고를 기준으로 수종별 0.5 m 단위로 사정하였다. 조사임분에 대하여 토양 층위별 조사구수 및 지위지수 사정 결과를 나타내면 Table 2와 같다.

Table 2에서 낙엽송 임분의 토양 층위별 지위지수의 분포 범위는 최소 13.5에서 최대 16.5의 범위로 나타났다.

3. 토양시료 분석

선정된 조사지에서 토양 층위별로 채취된 토양 시료에 대하여 토양의 이화학적 성질은 표준임업시험 실시요령(林業硏究院, 1990)에 의하여 다음 Table 3과 같은 방법으로 분석하였다.

4. 통계적 분석

토양의 이화학적 성질인 Sand:X_1, Silt:X_2, Clay:X_3, pH:X_4, O.M.:X_5, T.N.:X_6, Avail. P_2O_5:X_7, C.E.C.:X_8, Exch.K^+:X_9, Exch.Na^+:X_{10}, Exch.Ca^{++}:X_{11}, Exch.Mg^{++}:X_{12}, Base Sat.:X_{13} 등을 설명변수로 하고 지위지수를 목적변수로 하여, 지위지수와 관계가 깊은 설명변수를 차례로 선택하는 단계별 회귀분석 방법을 이용하였다. 첫 단계에서는 목적변수 Y에 대한 단순상관이 가장 높은 설명변수를 회귀시킨 단순회귀 $Y=\beta_0+\beta_k X_{ik}+e_i$ (k=1, 2, n)모형을 선정한다. 선정된 회귀식에 대한 F 검정을 통하여 기대치 이상일 때 다음 단계로 넘어가 나머지 설명변수를 하나씩 회귀시킨 회귀모형을 설정하였다. 그 가운데 F 값이 기대치 이상인 설명변수를 도입한 후, 설정된 회귀모형 중 F 값이 가장 큰 설명변수를 채택하여 $Y=\beta_0+\beta_1 X_{i1}+\beta_k X_{ik}+e_i$ (k=2, 3, n) 모형을 설정한다. 이와 같은 단계적 절차를 반복하여 $Y=\beta_0+\beta_1 X_{i1}+\beta_2 X_{i2}+\beta_k X_{ik}+e_i$ (k=1,2,n) 모형에 의하여 토양의 이화학적 성질과 지위지수와의 관계를 분석하였다.

Table 3. Soil properties surveyed and soil analysis method in *Larix leptolepis* stand.

Soil variables	Unit	Analysis method
Sand	%	Hydrometer method
Silt	%	Hydrometer method
Clay	%	Hydrometer method
pH	pH	Electric glass method
O. M.	%	Turin's method
T. N.	%	Nitrogen analyzer method
Available P_2O_5	ppm	Lancaster's method
C. E. C.	me/100 g	Brown's method
Exch. K^+	me/100 g	Atomic absorption spectro photometer
Exch. Na^+	me/100 g	Atomic absorption spectro photometer
Exch. Ca^{++}	me/100 g	Atomic absorption spectro photometer
Exch. Mg^{++}	me/100 g	Atomic absorption spectro photometer
Base Sat.	%	Total Base ÷ C.E.C. × 100

설명변수가 하나씩 단계적으로 추가됨에 따라 R^2는 증가하지만 수정 결정계수는 어느 설명변수까지에서 최대치를 나타낸다. 따라서 수정 결정계수가 최대가 되는 설명변수까지를 최적 단계별 중회귀모형이라 판단하여 설명변수를 선택하였으며, 채택된 단계별 중회귀모형의 각 설명변수에 대한 회귀계수를 구한 후 회귀계수에 대한 t 검정을 실시하여 5% 유의수준에서 유의성이 인정되지 않는 설명변수를 제외시킨 다음(金秉洙 등, 1988) 최종 단계별 중회귀식을 유도하였다. 이와 같이 추정된 중회귀식에

Table 4. Distribution of the physical properties by horizons in soil.

Stand	Soil horizon	Class	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
Larix leptolepis stand	A	Mean	46.42	39.01	14.57	Loam
		Max.	79.00	60.10	30.20	
		Min.	19.86	17.20	3.80	
	B	Mean	46.60	37.27	16.13	Loam
		Max.	78.52	61.62	31.40	
		Min.	17.14	14.20	4.60	

대한 유의성을 검정하기 위하여 F 검정을 실시하였으며, 추정된 중회귀식에서 토양의 이화학적 성질이 지위지수 추정에 미치는 영향을 파악하기 위하여 표준편회귀계수를 구하였고, 표준화된 편회귀계수의 크기에 따라 지위지수 추정에 영향을 미치는 순서를 판정하였다(林業硏究院, 1992). 통계분석시스템은 산림청 전산기 VAX 8350을 이용하였으며, 사용된 통계패키지로는 산림과학원에서 임업용으로 개발한 통계패키지(FRISP)의 회귀분석방법(임업연구원, 1992)에서 변수 선택 중 단계별 회귀분석법을 선택하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 산림토양의 이화학적 성질

낙엽송 임분의 토양 A, B층에 대한 이화학적 성질에 의하여 지위지수를 추정하기에 앞서 토양 층위별 이화학적 성질에 대한 평균, 최대, 최소치를 구한 결과는 Table 4, 5와 같다.

Table 4에서 임분의 토양 층위별 물리적 성질에 대한 조사 결과 모래, 미사, 점토성분의 평균 함량치로 볼 때 대부분 양토에서 생육하고 있었다.

Table 5에서 임분의 토양 층위별 화학적 성질에 대한 조사 결과 pH는 전체 임분에서 최소 4.5에서 최대 6.7의 범위에서 생육하고 있는 것으로 조사되었다. 이는 堀田庸(1990)가 삼림토양은 일반적으로 산성을 나타내며 pH 4.5~6.5의 범위이고 침엽수의 생육에 간접적으로 지장을 초래하는 pH는 4.5이하라고 한 결과로 보아 수목의 생장에 지장이 없는 것으로 판단되었다. 한편 토양 중 유기물, 전질소, 유효인산 및 치환성 칼슘은 낙엽송 임분의 토양 A층이 B층에 비하여 대체적으로 높게 함유되어 있다. 이와 같은 결과는 李敦求와 禹秀泳(1990) 및 山谷孝一와 仙石鐵也(1976)는 표토층이 하층에 비하여 위와 같은 인자들의 함유량이 높게 나타났다는 보고와 일치하였다.

이상에서 낙엽송 임분은 먼저 유기물과 전질소의 평균 함유량은 토양 A, B층에서 대체적으로 높게 함유하고 있었으며, 유효인산은 토양 B층에서 비교적 높게 나타났고, 치환성 칼슘의 평균 함유량은 가장 높게 나타났으므로, 미립목지에 대상수종의 임분을 조성하고자 할 때 이들 인자

Table 5. Distribution of the chemical properties by horizons in soil.

Stand	Soil horizon	Class	pH	O.M. (%)	T.N. (%)	Avail.P_2O_5 (ppm)	C.E.C. (me/100g)	Exch. cations(me/100g)				Base sat. (%)
								K^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	
Larix leptolepis stand	A	Mean	5.3	4.622	0.208	40.65	11.08	0.17	0.19	2.27	0.51	28.34
		Max.	6.1	9.765	0.420	100.40	15.40	0.44	0.34	6.08	1.78	87.93
		Min.	4.7	0.818	0.055	12.14	5.50	0.04	0.03	0.53	0.08	6.78
	B	Mean	5.3	2.478	0.122	21.88	9.69	0.10	0.19	1.52	0.38	22.60
		Max.	6.2	6.042	0.292	90.55	14.96	0.21	0.38	5.95	1.94	87.10
		Min.	4.7	0.306	0.039	3.83	4.84	0.03	0.04	0.40	0.06	5.00

Table 6. Inner correlation matrix for physico-chemical properties of *Larix leptolepis* stand.

	Variable	Y	X_1	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
B horizon	Y S.I.	1.0000	-0.3935	0.2176	0.1706	-0.0868	-0.0668	-0.6430	-0.2350	0.0028	0.0411	-0.0471	0.3781	0.0332
	X_1 Sand	0.4291	1.0000	-0.7717	0.2656	-0.3890	-0.3166	0.1743	-0.5728	-0.1574	-0.2022	0.1748	0.0459	0.3552
	X_3 Clay	0.3552	-0.7605	1.0000	-0.2640	0.1087	0.0924	-0.2761	0.4458	0.0832	0.2653	-0.1366	-0.1073	-0.2792
	X_4 pH	0.4536	0.1115	-0.1007	1.0000	-0.1389	-0.0926	-0.1065	-0.2002	0.0774	-0.0599	0.6210	0.3481	0.6368
	X_5 O.M.	-0.2184	-0.2276	-0.0006	-0.2523	1.0000	0.5993	0.1495	0.6272	0.0910	0.1020	0.0104	0.0280	-0.3083
	X_6 T.N.	-0.2711	-0.1305	-0.1118	-0.1639	0.7173	1.0000	0.2784	0.5793	0.2364	-0.0268	0.1646	0.0900	-0.1440
	X_7 Avail.P_2O_5	-0.2982	0.3535	-0.3180	-0.2137	0.1852	0.3141	1.0000	0.0900	0.3559	-0.0057	0.0787	-0.2003	0.0082
	X_8 C.E.C.	-0.3323	-0.4392	0.2816	-0.2522	0.5295	0.6709	0.1140	1.0000	0.0534	0.1374	0.0490	0.0112	-0.3686
	X_9 Exch. K^+	0.0678	0.1456	-0.1393	-0.0530	0.1574	0.2631	0.1958	0.1743	1.0000	0.1752	0.2878	0.1950	0.2548
	X_{11} Exch. Na^+	0.0587	0.0518	-0.0419	0.0814	-0.2694	-0.3749	-0.0212	-0.1676	0.0731	1.0000	0.1378	0.1670	0.1607
	X_{11} Exch. Ca^{++}	0.7465	0.2608	-0.2586	0.6952	-0.2256	-0.0938	-0.0899	-0.2621	0.1788	0.2243	1.0000	0.5057	0.7527
	X_{12} Exch. Mg^{++}	0.3638	0.0771	-0.1351	0.5913	-0.1921	-0.1540	-0.1319	-0.2789	0.0878	0.1482	0.7053	1.0000	0.5528
	X_{13} Base Sat.	0.6278	0.3275	-0.3059	0.6820	-0.3524	-0.2802	-0.1446	-0.5410	0.0867	0.2430	0.8010	0.7951	1.0000

A horiazon

Table 7. Multiple regression models derived from stepwise method.

Stand	Soil horizon	R^2	Adjusted R^2	Variable	No. of variable
Larix leptolepis stand	A	0.9710	0.9667	X_7, X_1, X_8, X_{12}, X_3, X_{13}, X_{11}, X_4, X_6, X_5, X_{10}	11
	B	0.9647	0.9602	X_{11}, X_1, X_7, X_{13}, X_8, X_3, X_6, X_{10}, X_5, X_4	10

의 특성이 면밀히 고려되어야 할 것으로 사료되는 바이다.

2. 토양 층위별 지위지수

임목의 생육에 관계하고 있는 환경인자는 상호 복합적으로 관련되어 일정한 현상을 나타낸다. 따라서 산림토양의 이화학적 성질에 의한 지위지수를 추정하기에 앞서 토양의 이화학적 성질의 13개 인자에 대하여 독립성 검정을 실시한 결과 임분의 토양층위별 모래, 미사, 점토 간에는 모두 상관이 높게 나타났다. 이러한 결과는 이들 인자 간에 서로 상대적인 값으로 구성되어 두 인자의 확률이 결정될 경우 다른 한 인자는 자동적으로 확률이 결정되므로 두 인자만 선택하여 회귀분석을 하는 것이 합리적인 것으로 판단됨에 따라 모래, 미사, 점토 인자 중 서로 상관이 낮은 모래와 점토만을 분석인자로 선택하게 되었다. 즉, 토양의 이화학적 성질 중 미사를 제외한 12개 인자만으로 단계별 중회귀분석시 설명변수로 채택한 다음 인자별 내부상관을 분석하여 윗부분에는 토양 A층, 아랫부분에는 토양 B층에 대한 내부상관행열표를 작성한 바 Table 6과 같다.

Table 6에서 낙엽송 임분 토양 A층의 유효인산과 지위지수와의 관계에서 상관이 가장 높게 나타났으며, 토양 B층에서는 치환성 칼슘이 가장 상관이 높게 나타났다. 또한 토양 A층의 치환성 칼륨과 토양 B층의 치환성 나트륨은 상관이 가장 낮게 나타났다.

앞의 결과에서 임분 및 토양 층위별 지위지수와 토양의 이화학적 성질과의 관계에서 상관이 가장 높은 인자가 단계별 회귀분석시 가장 먼저 채택되는 설명변수가 되며, 분석하고자 하는 설명변수에 대한 독립성 검정 결과에 의하여 선택된 설명변수만으로 단계별 중회귀모형을 유도하게 되었다.

지위지수 추정을 위한 토양의 이화학적 성질들의 설명변수에 의한 단계별 중회귀분석에서 가장 적합한 모형을 선택하는 궁극적 목적은 최소의 설명변수로서 목적변수를 충분히 설명할 수 있는 중회귀모형의 선택이 필요하다. 따라서 설명변수가 단계적으로 도입됨에 따라 결정계수는 계속 증가하지만 수정 결정계수는 어느 단계에서 최대를 나타낸 후 설명변수를 추가 도입하여도 증가하지 않으므로, 수정 결정계수가 최대로 나타나는 단계까지의 설명변수를 토양의 이화학적 성질에 의하여 지위지수를 추정하기 위한 단계별 중회귀모형에 채택되었으며, 그 분석 결과는 Table 7과 같다.

Table 7에서 토양의 이화학적 성질을 설명변수로 하여 지위지수를 추정할 수 있는 가장 적합한 단계별 중회귀모형에 채택된 설명변수는 낙엽송 임분의 토양 A층에서는 12개의 설명변수에서 수정 결정계수가 가장 높게 나타났으나 Exch. K^+의 회귀계수에 대한 유의성 검정 결과 t값이 1.062로($t_{0.05}$=2.000)나타나 유의성이 인정되지 않으므로 적합한 설명변수로 채택할 수 없어 Exch. K^+의 설명변수를 제외한 11개 설명변수에 의한 지위지수를 추정할 수 있는 중회귀 모형으로 판단하게 되었으며, 낙엽송 임분의 토양 B층에서는 10개의 설명변수에서 R^2=0.9647 (Adj. R^2=0.9602)로 최적의 설명력을 나타내었다. 이러한 단계적 회귀분석의 변수선택단계에서 투입된 12개 설명변수 중 A층의 Exch. K^+, B층의 Exch. K^+ 와 Exch. Mg^+는 각각의 추정식에서 타 설명변수와 다중공선성이 발생함과 동시에 타변수에 비하여 상대적으로 지위지수에 낮은 상관관계를 갖는 변수로서 판정되어 최종 추정식에서는 제거되어졌다.

한편 일본의 西澤正久 등(1965)과 山根玆一 등(1990)은 수량화 이론에 의한 낙엽송 임분의 입지인자에 의하여 지위지수를 추정한 결과 중상관계수가 각각 0.962와 0.844로 나타났으며, 우리나라의 尹鍾和(1972), 馬相圭(1974), 鄭印九(1978, 1981)의 수량화 이론에 의한 산림 환경인자 및 토양의 이화학적 성질에 의하여 지위지수를 추정한 결과 중상관계수가 최대 0.93으로 나타났다는 결과보다 본 연구에서의 설명력이 높게 나타났다. 한편 盧義來(1985)의 토양의 물리적 성질에 의한 포플러유임분 등의 지위지수 추정과 李東燮와 鄭永觀(1986)의 삼림 환경 인자에 의한 굴참나무 임분의 생산력 추정의 결과와는 유사한 경향으로 나타났다.

한편, 본 연구와 직접 관련된 단계별 회귀분석법에 의한 지위지수 추정 결과와의 비교에서는 Alban(1974)은 토양 층위별 화학적 성질에 의하여 *P. resinosa*임분의 지위지수를 추정하기위한 단계별 중회귀식의 결정계수 R^2=0.77로 나타났으며, Broadfoot(1969)의 단계별 회귀분석 방법으로 토양의 물리적 성질 및 이화학적 성질에 의한 지위지수 추정시 최대 R^2=0.88로 나타난 결과보다도 본 연구 결과의 설명력이 높게 나타났다.

이상과 같이 임분의 토양 층위별 이화학적 성질로서 지위지수를 추정할 수 있는 가장 적합한 중회귀모형을 선정하여 단계별 중회귀식을 유도하게 되었으며, 유도된 단계별 중회귀모식에 의하여 지위지수를 추정할 수 있는 추정

Table 8. Derivation of equation to estimate for site index of *Larix leptolepis* stand.

A horizon			B horizon		
Variable	Reg. Coeffi.	t-value	Variable	Reg. Coeffi.	t-value
Avail. P_2O_5	-0.01064	-16.833**	Exch. Ca^{++}	1.17996	24.268**
Sand	-0.04198	-23.412**	Sand	0.00966	5.170**
C. E. C.	-0.28872	-24.848**	Avail. P_2O_5	-0.01253	-14.330**
Exch. Mg^{++}	0.76670	17.420**	Base Sat.	-0.05297	-14.702**
Clay	-0.03249	-7.679**	C. E. C.	-0.05505	-4.042**
Base Sat.	-0.04261	-15.707**	Clay	-0.02919	-7.505**
Exch. Ca^{++}	0.31676	11.597**	T. N.	-5.16177	-9.888**
pH	0.38499	6.858**	Exch. Na^{+}	-1.93333	-7.929**
T. N.	1.42682	5.805**	O. M.	0.09382	5.925**
O. M.	-0.05662	-5.611**	pH	-0.28979	-4.639**
Exch. Na^{+}	1.04870	4.963**	Constant	17.45104	
Constant	18.69537				
F-value	206.74**			188.43**	

**Significant at the 1% level.

식은 94%의 높은 설명력이 있었다.

3. 지위지수 추정 및 인자별 기여도

낙엽송 임분의 토양 A, B층의 이화학적 성질에 의하여 지위지수를 추정할 수 있는 단계별 중회귀식을 도출하기 위한 인자별 회귀계수를 구하였으며, 계산된 회귀계수에 대한 t 검정 및 추정식에 대한 F 검정을 실시한 결과는 Table 8과 같다.

Table 8에서 낙엽송 임분의 토양 A층에 대한 이화학적 성질에 의한 지위지수의 추정식은 S.I. = 18.69537 – 0.01064 Avail. P_2O_5 – 0.04198 Sand – 0.28872 C.E.C. + 0.76670 Exch. Mg^{++} – 0.03249 Clay – 0.04261 Base Sat. + 0.31676 Exch. Ca^{++} + 0.38499 pH + 1.42682 T.N. – 0.05667 O.M. + 1.04870 Exch. Na^{+} (R^2=0.9710)로 유도되었다. 그리고 낙엽송 임분의 토양 B층에 대한 이화학적 성질에 의한 지위지수의 추정식은 S.I. = 17.45104 + 1.17996 Exch. Ca^{++} + 0.00966 Sand – 0.01253 Avail P_2O_5 – 0.05297 Base Sat. – 0.05505 C.E.C. – 0.02919 Clay – 5.16177 T.N. – 1.93333 Exch. Na^{+} + 0.09382 O.M. – 0.28979 pH(R^2=0.9647)로 유도되었다.

따라서 토양의 이화학적 성질에 의하여 지위지수를 추정할 수 있는 추정식에서 낙엽송 임분의 토양 A층에 있어서는 치환성 마그네슘, 치환성 칼슘, 토양산도, 전질소 및 치환성 나트륨은 정의 상관으로 나타난 반면, 유효인산, 모래, 양이온 치환용량, 점토, 염기포화도 및 유기물은 부의 상관으로 나타났다. 낙엽송 임분의 토양 B층에 있어서는 치환성 칼슘, 모래 및 유기물이 정의 상관으로 나타난 반면, 유효인산을 비롯한 그 외의 인자는 부의 상관으로 나타났다. 그리고 낙엽송 임분의 토양 A, B층의 이화학적 성질 중 지위지수 추정에 공통적으로 정의 상관으로 나타난 인자는 치환성 칼슘뿐이며, 유효인산, 양이온 치환용량, 점토 및 염기포화도는 부의 상관으로 나타났다.

지위지수 추정식에 도입된 인자별 정과 부의 상관을 종합적으로 분석한 결과 토양 산도는 낙엽송 임분의 토양 A층에서 정의 상관으로 나타났고 토양 B층에 있어서는 부의 상관으로 나타났다. 유기물은 낙엽송 임분의 토양 A층에서 부의 상관으로 나타났고 토양 B층에 있어서는 정의 상관으로 나타났다. 전질소는 유기물과 반대로 낙엽송 임분의 토양 A층에서 정의 상관으로 나타났고 토양 B층에 있어서는 부의 상관으로 나타나 유기물과 전질소는 지위지수를 추정할 때 서로 상반된 상관을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 또한 유효인산은 낙엽송 임분의 토양 A층에서와 토양 B층 모두 부의 상관으로 나타났다. 따라서 토양의 이화학적 성질이 지위지수를 추정할 때 미치는 영향은 토양 산도 및 전질소는 대체적으로 정의 상관으로, 유기물 및 유효인산은 부의 상관으로 나타나고, 그 외의 인자는 정과 부의 상관으로 일관성 없게 나타났다. 한편 도출된 추정식에 의하여 추정된 지위지수와 실측된 지위지수와의 잔차 검토에 있어서 임분의 토양 층위별 전체 분석자료에서 잔차의 분산은 등분산성이 인정되었다.

이상의 회귀추정결과의 현지 적용성을 고려해 볼 때 한 가지 고려되어져야 할 점은 주로 임목의 생장 및 그 뿌리 발달은 토양 B층에 비하여 A층의 토양 특성에 의해 대부분 영향을 받는 것으로 알려져 있다는 점이다. 특히 낙엽송은 천근성 수종이어서 B층에 비해 A층의 토양특성에 따라 더욱 그 생장량 차이가 발생한다(2002, 이상훈과 이돈구). 따라서 미립목지에서 낙엽송 임분을 조성하고자 할 경우, 본 연구결과에서 도출된 A층의 추정회귀식에 채택된

토양인자에 대한 미립목지의 토양성분을 경영계획 및 시업전에 면밀히 검토하여야 할 것으로 사료된다(Table 8).

이원규 등(1997)의 산화지에서 토양이화학적성질이 임목생장에 미치는 영향에 관한 연구에서 산화지의 전질소 손실은 임목생장을 제한하는 가장 주된 토양 성분이라고 한 연구결과와 본 연구에서 A층의 전질소 회귀계수가 낙엽송생장에 유의한 정의 상관으로 나타난 결과로 보아 공히 임목생장에 전질소의 영향이 유의한 것으로 판단된다. 그리고 A층에서의 점토성분(30.20%) 대비 모래과다(부의 회귀계수; – 0.0420**)는 우리나라 산지 지형 특성상 표토층의 건조를 초래할 가능성이 높으며, B층(정의 회귀계수; 0.0097**)에서의 적정모래함량(점토성분 31.40% 대비)은 토양배수를 양호하게 하여 임목생장에 대한 그 기여도가 층위별로 각기 다른 양상을 보이기 때문인 것으로 사료된다(Table 8). 토양 B층에서의 모래함량은 통기성 및 공극발달과 관련하여 토양 중 배수 및 수분함량에 직접적으로 관여하고 있는 것으로 보고된 바 있다(정진현 등, 2003). 따라서 이러한 모래함량 및 그 형태학적 구성비는 본 연구결과에서도 각 층위별로 그 역할에 있어서 다소 다른 경향을 나타내고 있는 것으로 사료된다. 특히 토양 A층 및 B층에서의 모래함량(약 45%)의 차이는 크지 않더라도 각 층위별 점토질 대비 모래함량 구성비의 미세한 차이(Table 4)는 임목의 뿌리발달과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단되었다. 이러한 모래함량은 A층에서 표토층의 건조와 관련이 있으며, B층에서 토양 중 습도 조절에 의한 뿌리호흡 및 뿌리생장에 직접적으로 관여할 뿐만 아니라 간접적으로 안정된 토양의 물리적구성에 기초하여 화학적 성분을 토양에 잘 집적하게 함으로써 임목생장에 다양한 형태로 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다. 또한 정인구(1981)의 임목생장에 미치는 산림토양의 형태학적 및 이화학적성질에 관한 연구보고에서, 낙엽송 임분은 잣나무 임분보다 적윤지에 대한 요구도가 상대적으로 높다고 하여 잣나무에 비해 낙엽송 임분에서의 생육조건에 토양건조도(토양수분)가 미치는 영향이 더욱 크다는 연구결과와도 유사한 결과를 보여 향후 미립목지에서 낙엽송림을 조성하고자 계획할 경우 이에 대한 사전 검증이 반드시 요구되어진다.

중회귀식에서 각 인자별 기여도를 분석할 때 편상관계수 또는 회귀계수를 표준화시킨 표준편회귀계수 등으로 분석하고 있으며, 본 연구에서 추정된 중회귀식에 따라 낙엽송 임분의 지위지수에 대한 토양의 이화학적 각 인자별 기여도를 파악하기 위하여 표준편회귀계수를 계산한 결과는 Figure 2와 같다.

Figure 2에서 낙엽송 임분의 토양 A, B층에서 지위지수를 추정할 때 공통적으로 기여도가 높은 토양의 이화학적 성질은 치환성 칼슘과 염기포화도이었다. 토양 A층에서

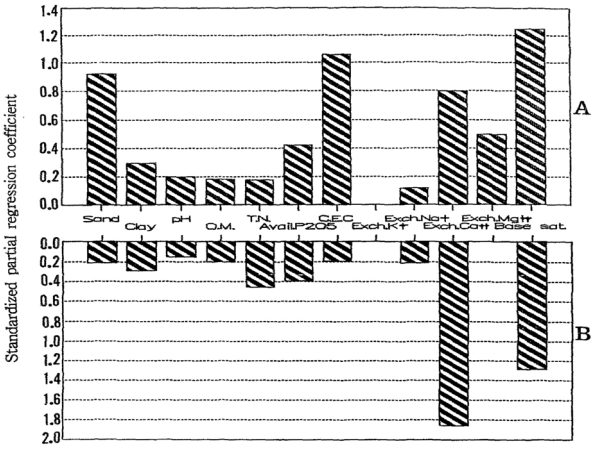

Figure 2. Standardized partial regression coefficient (*Larix leptolepis* stand).
Note) A : A horizon, B: B horizon.

는 염기포화도, 양이온 치환용량, 모래, 치환성 칼슘, 치환성 마그네슘의 순으로, 토양 B층에서는 치환성 칼슘, 염기포화도, 전질소, 유효인산, 점토 순으로 높게 기여하고 있었다. 또한 토양산도, 유기물 및 치환성 나트륨은 토양 A, B층에서 공통적으로 낮게 나타났다.

낙엽송 임분에 대하여 金樟洙(1974)는 낙엽송의 임목생장과 관련이 깊은 토양의 이화학적 인자로는 유기물, 전질소, 유효인산이라고 하였으며, 後藤和秋(1977)는 잎의 양분 농도는 토양중의 양분 수준을 가장 잘 반영하는 것이라고 판단하여 잎의 양분 중 칼륨, 인산, 칼슘이 낙엽송의 수고와 직경생장에 가장 관련이 깊다고 한 두 결과는 본 연구의 낙엽송 임분 토양 B층의 결과와 유사한 경향을 나타냈다. 鄭印九(1981)는 낙엽송 임분에 대한 토양의 화학적 성질에 의하여 지위지수를 추정할 때 기여도가 높은 인자는 염기포화도, 유기물, 치환성 칼슘, C/N율, 유효인산 순으로 편상관계수가 높게 나타난 결과와는 낙엽송 임분 토양 A, B층에 대한 본 연구 결과와 유사하였다. 한편 일본의 近藤芳五郎과 生田公良(1974)을 비롯한 여러 연구(西澤正久 등, 1965; 山根玆一 등, 1990)에서 지위지수에 영향을 미치는 환경인자는 지역과 수종 등에 따라 각각 다르게 기여한다고 하였는데, 본 연구 결과에서도 토양의 이화학적 성질이 임목생장에 미치는 기여도가 다소 다르게 나타나 이들 연구와 유사한 경향을 나타내었다.

결 론

임지 생산능력의 판단기준이 되는 지위지수는 우리나라 주요수종별 성림지를 대상으로 이미 작성되어있다. 그러나 조림예정지 및 수종갱신지 등의 미립목지에 대한 지위지수 추정은 입목지에서와 같지 않다. 따라서 미립목지에 대한 지위지수는 일반적으로 토양의 단면특성에 의한

물리적 성질 및 입지환경인자에 의하여 추정되고 있는 실정이다. 본 연구에서 토양의 물리적·화학적 성질에 의한 단계별 회귀분석법을 사용하여 낙엽송 지위를 추정한 결과 94%이상의 설명력을 나타내는 것으로 보아 앞으로 이와 같은 방법에 의하여 산림갱신지, 미립목지에 대한 지위지수를 사정한다면, 산림자원화경영계획 수립 및 임업경영의 의사결정에 크게 기여하리라 생각된다. 그리고 본 연구에서 획득된 토양의 A층과 B층 각각에 대한 토양의 이화학적 특성을 충분히 고려하여 지위지수를 추정할 경우 갱신지 및 미립목지의 산림조성에 대한 기대효과가 더욱 커질 것으로 사료된다. 끝으로 우리나라에서 과거의 조림은 치산녹화, 사방 및 연료림 생산 등의 목적으로 최단기에 시행되어 오늘날 조성된 임목의 생장이 지역에 따라 그 편차가 심하다. 이러한 각 수종별 임목의 생장량은 지위에 의해 표현되어지는데 특히 토양의 성질에 의한 임목의 생장은 토양의 최소인자에 의해 그 생장량이 결정되어진다(리비히(Liebig)의 최소율(最小律)의 법칙). 따라서 통계적으로 유의적인 2~3변수의 설명변량만으로 미립목지에서의 지위지수 추정식을 도출하여 조림적지를 판정할 경우 왜곡된 판정을 할 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 변수간 내부상관성이 아주 높은 인자를 제외한 적합한 변수의 토양인자를 대상으로 추정식을 도출하여 그 결과를 해석하고자 하였다. 선진임업국의 경우 이미 조림역사가 몇 백 년에 이르고 있으나 우리나라의 경우 본격적 조림역사가 몇 십 년에 불과하여 이에 대한 연구는 더욱 철저를 기해야 할 것이며 동시에 국제적인 이슈에 부합하는 즉, 기후온난화, 생물종다양성, 생태계복원 등의 관점에서도 현재 수행된 낙엽송 임분의 조림적지에 관한 연구결과는 기초자료로도 충분히 활용가치가 있을 것이라 판단된다.

인용문헌

1. 金秉洙 外 3人. 1988. SPSS를 利用한 統計資料分析. 博英社. 서울. 613pp.
2. 金樟洙. 1974. 낙엽송의 生長과 土壤條件에 關한 硏究. 高麗大農林論集 14: 35-51.
3. 盧義來. 1985. 新品種 포플러류, 현사시, 수원포플러, 양황철나무의 適地判定에 관한 硏究. 林育硏報 21: 37-52.
4. 馬相圭. 1974. 環境因子의 數量化에 의한 잣나무林 收穫量 推定과 林木生長에 關한 硏究. 林試硏報 21: 41-115.
5. 山林資源調査所. 1970. 適地適樹 造林을 위한 山林土壤調査. 林試硏報 17: 77-109.
6. 尹鍾和. 1972. 多變量解析에 의한 林木生長에 關한 硏究. 江原大演習林報 1: 3-55.
7. 李敦求, 禹秀泳. 1990. 삼나무, 테다소나무, 곰솔, 일본전나무 林分과 편백- 삼나무 混淆林分에서 地位指數, 生長, 土壤養料 및 土壤斷面 比較. 서울대演習林報告 26: 33-41.
8. 李東燮, 鄭永觀. 1986. 森林環境林地에 의한 굴참나무林分의 生産力推定. 韓林誌 75: 1-18.
9. 이상훈, 이돈구. 2002. 백운산 지역 잣나무 및 낙엽송 인공림 내에서의 천연활엽수 발생과 생장 및 이에 관여하는 인자. 한국임학회 학술연구발표논문집.
10. 이원규, 김춘식, 차순형, 김영걸, 변재경, 구교상, 박재욱. 1997. 산불이 산림토양의 이화학적 성질에 미치는 영향. 한국생태학회지 20: 157-162.
11. 林業硏究院. 1990. 標準林業試驗實施要領. 林業硏究院. pp. 111-123.
12. 林業硏究院. 1992. 林業試驗統計 팩키지 使用法. 林業硏究院. pp. 185.
13. 鄭印九. 1981. 數量化에 의한 우리나라 山林土壤의 形態學的및 理化學的 性質과 잣나무 및 낙엽송의 生長相關分析. 韓林誌 53: 1-26.
14. 鄭鎭炫, 金椿植, 具敎常, 李忠和, 元亨圭, 邊載京. 2003. 한국 山林土壤의 母巖별 理化學的 特性. 韓林誌 92: 254-262.
15. 堀田庸. 1990. 林業技術ハンドブツク. 東京. 445-474.
16. 近藤芳五郎, 生田公良. 1974. スギの適地判定に關する2.3の考察(1). 日林講 85回: 85-87.
17. 山谷孝一, 仙石鐵也. 1976. 北上山地北部にねける地形開析と土壤形態の變化. 日林誌 58(9): 338-346.
18. 山根玆一, 外 4人. 1990. カラマツ人工林の立地要因の關係. 北海島林試硏報 28: 54-63.
19. 西澤正久, 眞下育久, 川端幸歲. 1965. 數量化による地位指數の推定法. 日林試硏報 176: 1-54.
20. 鄭印九. 1978. 數量化による林地生産力とその成果-韓國林地能力級區分調査方法について. 森林立地 20(1): 31-35.
21. 後藤和秋. 1977. 葉分析による林木の營養診斷にたいする2.3の考察. 日林試硏報 290: 35-75.
22. Alban, D.H. 1974. Red pine site index in Minnesota as related to soil and foliar nutrients. For. Sci. 20(3): 261 - 269.
23. Broadfoot, W.M. 1969. Problems in relating soil to site index for southern hardwood. For. Sci. 15(4): 354-364.
24. Herman, F.R., R.O. Curtis and D.J. Demars. 1978. Height growth and site index estimates for noble fir in high-elevation forests of the Oregon Washington Cascades. USDA, For. Serv. Res. Pap. PNW. 243: 1-15.
25. Klock, G.O., R.G. Cline and D.N. Swanston. 1984. Forest handbook (Second Edition). A Wiley-Interscience Publication, New York. 83-96.
26. Kochi D.A. and Brang, P. 2005. Simulating effects of forest management on selected public forest goods and services: A case study. For. Ecol. Manage. 209: 57-68.

(2008년 8월 19일 접수; 2008년 12월 16일 채택)