

林木(海松)의 適地選定에 관한 研究^{1*}

鄭永觀² · 朴南昌³ · 孫英模²

The Selection of the Suitable Site for Forest Tree (*Pinus thunbergii*)^{1*}

Young Gwan Chung² · Nam Chang Park³ and Yeong Mo Son²

要 約

우리나라 남부지방의 주요 樹種인 海松林分の 地位指數에 영향하리라 예상되는 土壤의 理化學的 性質과 環境因子중 18개 因子를 218개 標準地에서 測定하여 설명변수로 하고, 海松의 樹高生長量, 즉 林分の 地位指數를 반응변수로 하여 상관분석, 편상관분석, 회귀분석 및 요인분석을 실시하여 海松의 適地選定, 生長量 추정 및 비배관리 등에 대한 기초적 지침을 제시하고자 이 研究를 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 海松林分の 地位指數와 土壤 및 環境因子간의 상관에 있어서, 地位指數와 유효토심간의 상관계수 $r=0.6498$ 로 약간 높게 나타났고($p<0.01$), 다음으로 경사도, 유기물함량, 전질소함량 순으로 상관이 나타났다.
2. 각종 인자간의 내부상관을 배제한 海松林分の 地位指數와 영향인자간의 편상관에 있어서는 유효토심($r=0.6270$), 경사도($r=-0.5423$), 염기포화도($r=0.3278$) 순으로 海松林分の 地位指數에 영향을 미치고 있었다.
3. 단계적회귀분석 결과, 海松林分の 地位指數에 영향을 미치는 因子群은 유효토심, 경사도, 유기물함량, 염기포화도, 토양산도, 미사함량 및 치환성 Ca^{++} 群으로 나타났다.
4. 土壤 및 環境因子에 의한 海松林分の 地位指數 추정식은 $Y=13.2691+0.0242 X_2-1.2244 X_4+0.6142 X_5-0.3472 X_{11}+0.0355 X_{13}+0.1552 X_{15}-0.1002 X_{17}$ 으로 도출되었고, 추정식에 대한 적합도는 77%로 나타났다.
5. 海松林分の 地位指數에 영향하는 인자들을 요인분석한 결과, eigenvalue 1.0 이상의 주성분은 6개였으며, 이들의 累積奇與率은 71.1%였다.
6. 要因分析에 의하여 산출된 6개의 要因點數와 海松林分の 地位指數와의 관계를 단계적회귀분석한 결과, 5개의 要因點數를 갖는 추정모델이 도출되었다. 이 海松林分の 地位指數 추정모델에 대한 $R^2=0.8481$ 로 높은 설명력을 가지며, 회귀계수에 대한 유의성을 검정한 결과 1% 수준에서 유의성이 인정되었다.

따라서 海松의 樹高生長에 관여하는 因子를 선정하는 방법은 要因分析에 의한 回歸分析이 가장 유리한 것으로 나타났다. 그리고 海松林分の 경영은 이상과 같은 방법에 의하여 선정된 林木生長에 관여하는 因子를 고려하여 실행되어야 할 것으로 사료된다.

¹ 接受 1993년 8월 13일 Received on August 13, 1993.

² 慶尙大學校 農科大學 林學科 Department of Forestry, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea.

³ 南部林業試驗場 Southern Forestry Research Institute.

* 이 논문은 1991년도 한국과학재단 연구비지원에 의한 결과임(과제번호 911-1507-062-2).

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effect of the forest environmental factors(5 items) and physico-chemical properties of soil(13 items) on the growth of *Pinus thunbergii* stands. The 218 plots were sampled over the coastal district of the whole country.

In statistical analysis, the explanatory variables were soil and environmental factors(18 items), and the response variable was the site index of *Pinus thunbergii* stands.

Data computation was processed in order of preparation of original data, computation of inner correlation matrix table by correlation analysis, calculation of partial correlation coefficients and coefficients of determination, estimation of regression equation by stepwise regression analysis, and stepwise regression analysis by factor score of factor analysis.

The main results obtained were summarized as follows :

1. The site index in *Pinus thunbergii* stands was highly correlated with effective soil depth($r=0.8668$), slope percentage, organic matter, and total nitrogen.
2. According to the coefficients by partial correlation analysis, effective soil depth($r=0.6270$), slope percentage ($r=-0.5423$) and base saturation($r=0.3278$) among environmental factors had a great effect on tree growth.
3. With stepwise regression analysis, the factors effecting on the *Pinus thunbergii* stands growth were effective soil depth, slope percentage, organic matter, base saturation, soil pH, content of silt, exchangeable Ca, and etc.
4. Estimation equation for the site index of *Pinus thunbergii* stands was given by $Y=13.2691+0.0242 X_2-1.2244 X_4+0.6142 X_5-0.3472 X_{11}+0.0355 X_{13}+0.1552 X_{15}-0.1002 X_{17}$. The coefficient of determination for the estimation model was 0.77, which was significant at the 1 percent level.
5. In result of factor analysis by the environmental factors, principal components were 6 factors, and communality contribution percentage was 71.1 percent.
6. By stepwise regression analysis between factor score and site index of *Pinus thunbergii* stands, the factor group effecting on site index was 5 principal components. The coefficients of determination was 85 percent, which was significant at the 1 percent level.

In conclusion, on the occasion of analyzing which factors to effect on the tree height growth in *Pinus thunbergii* stands the stepwise regression analysis proved to be greatly significant. Also the management of *Pinus thunbergii* stands should be working by the above selected growth factors.

Key words : *Pinus thunbergii*, site index, tree height growth, environmental factor, stepwise regression analysis, factor analysis.

緒 論

林木生長은 개체의 유전적 특성과 여러가지의 自然環境因子가 동시에 복합적으로 관련된 결과의 총합체로 나타난다. 그러므로 林木生長과 環境因子와의 관계 구명은 林木의 적지 결정과 임지의 생산력 추정에 따른 造林 및 伐採計劃의 체계화와 현실 경영체계의 보다 집약적인 임업경영 형태로 전환하는데 그 의의를 부여할 수 있다.

특히 부존자원이 빈약하고, 再生産性的의 山林資源마저 부족하여 목재수요의 85% 이상을 수입외재에 의존하고 있는 우리나라 실정에 비추어 볼 때 林木育種技術의 變革과 이미 분포되어 있는 유망 樹種의 개발 육성은 시급한 과제라 하지 않을 수 없다.

海松은 材質과 生長이 뛰어나 森林의 經濟的機能 뿐만 아니라 防風林으로서의 公益의 기능을 함께 갖춘 樹種으로서 병충해에 강하고, 척박한 임지에서도 비교적 생육이 강해 우리나라에서 개

발전망이 밝은 주요 樹種으로 지정되어 있다. 그런데 海松에 대한 生長特性, 生産性, 適地選定 및 造林技術 등 보속적 임업경영의 기초 정보가 빈약한 실정이다.

한편 외국의 研究者들은 각기 자국의 유망 樹種에 대한 研究가 활발하여, 1935년 美國의 Coile, 1945년 日本의 Hayashi 등은 일찍부터 이 분야에 대한 깊은 관심을 가지게 되었다¹⁰⁾. 그러나 그 당시에는 測定 가능한 몇몇 요소들에 의하여 林木의 生長量을 추정하고, 適地適樹를 결정하였으나, 試驗資料의 測定과 統計의 分析이 다양해진 현시점에서 볼 때 만족스럽다고 할 수는 없다. 그 후 Richards 등²²⁾은 林木蓄積을 종속변수로 하고, 토심, 전질소, 양이온 치환용량 등 土壤의 理化學的性質과 지형, 퇴적양식, 암석노출도 등의 環境因子를 독립변수로 하여 이들 관계를 규명한 결과, 環境因子가 red pine의 蓄積 증가에 크게 영향한다고 하였다.

그리고 Auten¹⁾은 土壤의 化學的性質 가운데 치환성 Ca^{++} , 치환성 Mg^{++} , $P^{2}O_5$, pH 등은 林木生長에 관계되지 않으나, 토심은 관계된다고 하였다. 또한 Thomson과 McComb²⁵⁾는 지위의 등급은 표토와 하층토의 pH에 따라 변한다고 하였으며, Carmean²⁾은 douglas fir 生長에 土壤排水, 표층토심, 석력함량, 방위 및 경사위치가, Mader와 Owen¹⁸⁾은 red pine 生長에 유기물, 질소 및 배수상태가, McKee¹⁹⁾는 토양 pH, K 및 Ca가 loblolly pine 生長에 영향을 미친다고 하였다.

최근에 이르러 日本의 Nishizawa 등²⁰⁾은 많은 自然環境要因을 數量化한 다변량해석에 의하여 임지의 생산력을 추정하는 방법을 고안하였다. 그리고 日本 林野廳에서는 日本의 전국 임지와 樹種에 대하여 地位指數로서 適地適樹 선정 기준을 설정하여 日本 전역에 널리 적용하고 있다¹²⁾.

우리나라에서는 尹²⁷⁾의 잣나무, 鄭⁵⁾의 잣나무 및 낙엽송, 金 등¹³⁾의 참나무류, 鄭^{7,9)}의 편백과 海松, 馬^{16,17)}의 잣나무와 소나무, 李¹⁵⁾의 대나무 등 몇몇 樹種에 대하여 많은 森林環境因子를 수량화하여 임지의 생산력과 林木의 生長特性을 규명한 바 있으나, 앞으로 보다 많은 樹種에 대하여 研究되고 實質經營에 적용 되어야 할 것으로 판단된다⁸⁾.

따라서 이 研究에서는 개발 유망 樹種 중의 하

나인 海松에 대한 여러가지 정보를 구명하고자 한다. 첫째로 海松에 대한 적지선정 기준의 설정, 둘째로 海松의 生長에 적합한 土壤條件의 개량과 森林環境의 개선방안 모색, 셋째로 林木의 生長에 관여하는 土壤의 理化學的性質 및 環境因子에 의하여 地位指數를 추정하므로써 無立木地의 生産力 추정은 물론 海松林분에 대한 장래의 生長量과 收穫量을 예측하는 요령을 분명하게 구명하고자 한다.

研究材料 및 方法

1. 標準地의 選定

우리나라 강원, 충남, 전남북, 경남북의 해안에 걸쳐 생육하고 있는 海松林을 대상으로 '91년 6월 부터 '92년 10월에 걸쳐, 항공사진상에서 비교적 생육상태가 양호한 1ha 이상의 林分 218개 표준지를 Fig. 1과 같이 선정하였다. 그리고 표준지별 표준목을 선정하여 樹幹析解한 다음, 218개 표준목의 樹齡과 樹高에 의하여 海松林分の 地位指數를 算定하고, 이를 반응변수로 하였다. 그리고 海松의 生長에 영향하리라 예상되는 土壤의 理化學的性質 및 環境因子를 測定하여 설명변수로 하였다.

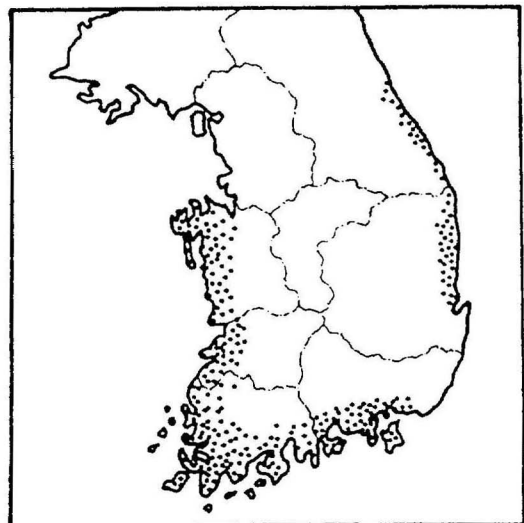


Fig. 1. A map on the surveyed area and distribution of *Pinus thunbergii*.

2. 海松林分の地位指數와 土壤의 理化學的性質 및 環境因子간의 관계

海松의 분포는 수평적으로는 제주도로부터 동해안의 강원도 울진, 서해안의 경기도 화성군 송산면에 이르고, 이지역 島嶼 및 해안지대에 집중 분포되어 있다⁶⁾.

조사된 지역을 서해안, 남해안 및 동해안으로 구분하여, 地位指數와 영향인자의 측정치를 비교하여 보면 다음과 같다.

Table 1은 목포에서 수원에 이르는 지역에 분포되어 있는 海松集團을 조사한 결과이다.

Table 1에서 서해안 지역 海松林分の 지위지

Table 1. Descriptive statistics of site index, soil and environmental factors of *Pinus thunbergii* stands in the west coast district

Variables	Minimum	Maximum	Mean	S. D.
Y Site index	7.500	16.500	11.990	2.214
X ¹ Content of sand (%)	3.800	88.500	31.017	13.671
X ² Content of silt (%)	7.100	70.800	43.765	11.472
X ³ Content of clay (%)	4.400	57.600	25.274	9.665
X ⁴ Soil pH	4.800	6.100	5.240	0.238
X ⁵ Organic matter (%)	0.138	6.206	1.935	0.886
X ⁶ Total nitrogen (%)	0.032	0.269	0.111	0.048
X ⁷ Available P ₂ O ₅ (ppm)	0.010	50.620	13.093	5.735
X ⁸ C.E.C. (me/100g)	2.420	14.740	8.533	2.325
X ⁹ Exchangeable K ⁺	0.050	0.730	0.164	0.093
X ¹⁰ Exchangeable Na ⁺	0.030	0.660	0.293	0.087
X ¹¹ Exchangeable Ca ⁺⁺	0.200	2.750	0.660	0.228
X ¹² Exchangeable Mg ⁺⁺	0.080	2.700	0.758	0.255
X ¹³ Base saturation (%)	6.260	95.450	24.621	10.946
X ¹⁴ Altitude (m)	5.000	230.000	69.956	22.651
X ¹⁵ Soil depth (m)	10.000	48.000	25.095	6.433
X ¹⁶ Content of gravel (%)	0.000	40.000	12.217	3.440
X ¹⁷ Slope percentage (°)	3.000	32.000	16.339	6.726
X ¹⁸ Distance between sea and tree (m)	0.100	18.800	4.604	1.992

Table 2. Descriptive statistics of site index, soil and environmental factors of *Pinus thunbergii* stands in the south coast district

Variables	Minimum	Maximum	Mean	S. D.
Y Site index	6.500	17.000	11.420	2.281
X ¹ Content of sand (%)	4.400	56.200	21.437	9.920
X ² Content of silt (%)	28.600	74.000	48.144	8.446
X ³ Content of clay (%)	12.000	52.000	30.418	8.812
X ⁴ Soil pH	4.400	5.900	5.184	0.262
X ⁵ Organic matter (%)	0.069	4.551	1.801	0.787
X ⁶ Total nitrogen (%)	0.026	0.287	0.113	0.050
X ⁷ Available P ₂ O ₅ (ppm)	1.940	38.710	14.085	5.506
X ⁸ C.E.C. (me/100g)	2.240	72.320	11.600	3.953
X ⁹ Exchangeable K ⁺	0.070	0.640	0.204	0.088
X ¹⁰ Exchangeable Na ⁺	0.180	0.730	0.349	0.099
X ¹¹ Exchangeable Ca ⁺⁺	0.180	4.280	0.946	0.306
X ¹² Exchangeable Mg ⁺⁺	0.090	2.810	0.786	0.210
X ¹³ Base saturation (%)	2.410	83.970	22.575	10.744
X ¹⁴ Altitude (m)	10.000	250.000	90.709	36.552
X ¹⁵ Soil depth (m)	12.000	41.000	24.488	6.015
X ¹⁶ Content of gravel (%)	0.000	40.000	14.069	5.807
X ¹⁷ Slope percentage (°)	2.000	34.000	22.348	7.133
X ¹⁸ Distance between sea and tree (m)	0.100	16.400	3.926	0.983

Table 3. Descriptive statistics of site index, soil and environmental factors of *Pinus thunbergii* stands in the east coast district

Variables	Minimum	Maximum	Mean	S. D.
Y Site index	6.000	13.500	10.125	2.208
X ¹ Content of sand (%)	26.600	80.200	49.400	15.986
X ² Content of silt (%)	15.800	41.400	31.600	7.857
X ³ Content of clay (%)	4.000	32.000	19.000	8.618
X ⁴ Soil pH	4.800	6.500	5.275	0.523
X ⁵ Organic matter (%)	0.121	3.310	1.510	0.442
X ⁶ Total nitrogen (%)	0.020	0.179	0.098	0.033
X ⁷ Available P ₂ O ₅ (ppm)	2.720	44.710	18.426	7.105
X ⁸ C.E.C. (me/100g)	4.620	9.020	6.402	1.472
X ⁹ Exchangeable K ⁺	0.110	0.290	0.195	0.073
X ¹⁰ Exchangeable Na ⁺	0.110	0.760	0.422	0.145
X ¹¹ Exchangeable Ca ⁺⁺	0.240	1.900	0.873	0.397
X ¹² Exchangeable Mg ⁺⁺	0.120	1.530	0.625	0.195
X ¹³ Base saturation (%)	6.630	66.280	30.077	11.352
X ¹⁴ Altitude (m)	10.000	140.000	60.000	17.809
X ¹⁵ Soil depth (m)	13.000	35.000	24.250	7.851
X ¹⁶ Content of gravel (%)	0.000	30.000	10.625	4.374
X ¹⁷ Slope percentage (°)	12.000	32.000	23.875	8.166
X ¹⁸ Distance between sea and tree (m)	0.100	5.000	2.375	0.821

수가 남해안과 동해안보다 약간 높아 생장이 양호함을 알 수 있고, 대체로 토심, 유기물함량, 염기포화도 등이 다른 해안지대보다 약간 높게 나타났다.

남해안 지역의 해송林分은 그 분포범위가 서해안이나 동해안보다 넓어 해안에서 4-8Km 범위 내에 분포하고 있는데, 이 지역에서 해송의 생장에 영향을 미치는 인자를 살펴보면 Table 2와 같다.

남해안 해송林分의 地位指數는 서해안보다 약간 낮고 동해안 보다 높았으며, 土壤因子중 양이온치환용량과 치환성염기류가 타 지역보다 높은 수치를 보였다. 그리고 내륙으로 넓게 분포하는 관계로 서해, 동해안 지역보다 海拔고가 높은 지역에 생육하고 있었다.

다음으로 동해안 지역 해송林分의 地位指數와 生長因子는 Table 3과 같이 나타났고, 동해안 지역은 부산에서 울진에 이르는 해안지역에 분포하고 있는데, 태백산맥을 경계로 북으로 갈수록 좁게 분포되어 있었다⁶⁾.

이 지역은 세 지역중 해송林分의 生長狀態가 가장 좋지 않은 지역이었고, 土壤 및 環境因子들의 측정치 대부분이 타지역에 비하여 낮은 수치를 보이고 있다. 그러나 林木의 生長을 저해하는 인자로 보고되어 있는 토양산도와 경사도 등은 다른 두 지역보다 약간 높은 경향을 나타내고 있

다.

3. 統計的 分析技法

1) 海松林分의 地位指數와 土壤 및 環境因子간의 相關 및 回歸分析

試料로 채취 분석된 土壤의 理化學的性質과 環境要因 즉, 모래, 미사, 점토, 토양산도, 유기물함량, 전질소함량, 유효인산, 양이온치환용량, 치환성 K⁺, 치환성 Na⁺, 치환성 Ca⁺⁺, 치환성 Mg⁺⁺ 및 염기포화도, 해발고, 유효토심, 석력함량, 경사도 및 해안과의 거리 등을 설명변수 X₁-X₁₈로 하고, 地位指數 分類曲線圖에 의하여 구해진 해송林分의 地位指數를 반응변수 Y로 하였다. 이 분석은 반응변수 Y가 p-1개의 설명변수에 의하여 변화함을 가정하여, 이들 선형관계를 $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_{p-1} X_{p-1} + \epsilon$ 로 보아, p개 모수인 $\beta_0, \beta_1, \beta_2 \dots, \beta_{p-1}$ 를 추정하고자 결편 β_0 와 X₁의 회귀계수 β_1 을 최소자승법 (least square method) 즉, 式 (3-1)에 의하여 계산하였다.

처리과정은 상관분석을 우선적으로 실시하여 각 변수들의 상관계수를 式 (1)에 의하여 계산하고, 내부상관이 있을 경우 다른 설명변수의 영향을 일체 배제한 편상관계수를 式 (2)에 의하여 계산하였다.

다음으로 다중회귀분석을 실시하였는데, 설명 변수들간의 상호 영향력에 기인하는 多重共線性的 변수들을 無關性으로 유도하고 간단한 해석모형을 제시할 수 있는, 式 (3)에 의한 변수의 절약(parsimony)을 위하여 前進導入法(forward selection)과 後方除去法(backward elimination)을 교대로 실행하면서 가장 최적의 선형모델을 제시하는 단계적회귀분석(stepwise regression analysis)을 실시하였다. 여기에서 추정되는 회귀계수와 회귀식의 적합성을 높이기 위하여 회귀식에 투입되어지는 변수의 신뢰구간과 회귀식에 투입되어져 잔존할 수 있는 신뢰구간을 95%로 신뢰한계를 정하고, 분석모델의 유의성 검정을 위하여 F-test를 式 (4)에 의하여 실시하였다¹⁷⁾.

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$$X_{op \cdot q} = \frac{r_{op} - r_{oq} \cdot r_{pq}}{\sqrt{1 - r_{oq}^2} \cdot \sqrt{1 - r_{pq}^2}} \quad (2)$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_{k-1} X_{k-1} + \epsilon \quad (3)$$

여기에서, β_0 = intercept X_1 = independent variable β_1 = regression coefficient ϵ = error

$$\beta_1 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \quad (3-1)$$

여기에서, \bar{x} , \bar{y} = sample mean

$$F = \frac{M S R (X_1)}{M S E (X_1)} \quad (4)$$

2) 海松의 生長과 土壤 및 環境因子간의 要因分析에 따른 回歸分析

많은 변수들을 도입하여 회귀분석을 실시할 경우 시간, 비용 및 분석의 복잡성 등이 문제점으로 대두된다. 따라서 요인분석으로 얻어진 要因群을 변수로 도입하여 회귀분석을 하게 되면, 분석에 채택되는 변수의 수를 줄일 수 있어, 분석을 간편하게 하면서도 필요로 하는 각종 정보를 얻는다는 점에서 그 의의를 부여할 수 있다.

이 研究를 수행함에 있어서 분석 과정은 土壤과 環境因子간의 상관관계를 이용하여 상호 유사한 인자들을 eigenvalue 1.0 이상의 factor로 grouping하였다. 여기에서 eigenvalue 즉, 고유값을 1.0 이상으로 정한 것은 고유값이 요인을 설명해주는 분산의 量을 말하는 바, 1.0 이상이라는 의미는 하나의 요인이 변수 1개이상의 분산을 설명하므로, 고유값이 1이하가 되면 1개의 요인이 1개의 변수에 해당하는 분산마저도 설명해

출 수 없기 때문에 변수집단으로서 요인의 의미가 없게되는 것이다. 그러므로 요인분석에 의한 관련요인 산출은 고유값을 1.0 이상으로 정하여야 할 것이고, 고유값은 式 (5)에 의하여 계산되어졌다. 다음으로 式 (5)에 의하여 산출된 각 factor에 평균이 0, 표준편차가 1인 式 (6)에 의한 표준화점수를 요인점수계수(factor score coefficient)에 대입하여 각 계수에 대한 점수를 산출하였다. 이렇게 산출된 요인점수는 海松林分の 地位指數를 반응변수로 하여 상호 관계의 정도를 파악하기 위하여 단계적회귀분석을 실시하였다.

$$\text{Eigenvalue} = \sum_{j=1}^n a_{ji}^2 \quad (5)$$

여기에서, i = factor i j = variable j
a = factor loadings

$$\text{Standard score} = \frac{X_i - \bar{X}_i}{S_i} \quad (6)$$

여기에서, \bar{X}_i = sample mean of variable i
 X_i = score by case of variable i
 S_i = sample standard deviation of variable i

그리고 이들 모든 분석에 사용된 統計 package는 SAS였다.

結果 및 考察

1. 海松林分の 地位指數와 土壤 및 環境因子간의 關係

1) 海松林分の 地位指數와 土壤 및 環境因子간의 相關

海松林分에 있어서 地位指數, 즉 樹高生長에 영향하리라 예상되는 각종 土壤 및 環境因子 $X_1 - X_{18}$ 을 조사한 후, 상관분석, 편상관분석 및 회귀분석을 실시하여 海松의 生長과 영향인자간의 관계를 밝히고자 하였다.

Table 4의 상관분석표는 다음과 같은 의도에서 분석된 결과이다.

우선 海松林分에 있어서 土壤 및 環境因子들이 상호 어느 程度(magnitude)의 상관이 있는가를 알아보고, 다음으로 상관계수의 방향(direction)이 + 또는 - sign인지를 파악하고자 하였다.

Table 4에서, 海松林分の 地位指數와 상관이 높은 土壤 및 環境因子는 유효토심으로서 상관계

Table 4. Inner correlation coefficient matrix between site index and environmental factors in *Pinus thunbergii* stands

Variables	X ¹	X ²	X ³	X ⁴	X ⁵	X ⁶	X ⁷	X ⁸	X ⁹	X ¹⁰	X ¹¹	X ¹²	X ¹³	X ¹⁴	X ¹⁵	X ¹⁶	X ¹⁷	X ¹⁸
Y S.I.	-.1791	.1496	.1310	-.0485	.5320	.4403	-.2464	.0145	-.0087	-.0096	-.0124	.0671	.1455	-.3384	.6498	-.1081	-.8744	.1429
X ¹ Sand	.1000	-.7732	-.7377	.2557	-.1889	-.2945	-.0287	-.2717	-.0722	-.0473	-.0028	-.1105	.1722	.0702	.0534	0.775	.1101	
X ² Silt	1.0000	1.0000	-.1452	-.1757	.2187	.2837	.1612	.1717	.0881	.0416	.0357	-.0165	-.1293	.1783	.0359	.1185	.0913	.0942
X ³ Clay	1.0000	1.0000	1.0000	-.1864	.0694	.1665	-.1289	.2418	.0219	.0245	.0389	.1850	.1359	-.0825	.0207	.0461	.2235	-.2718
X ⁴ Soil pH	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	-.0217	.0327	-.1244	-.1806	.0275	.0227	.3992	.3900	-.3819	.0723	.1336	-.0572	-.0162	.0544
X ⁵ O.M.	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	.7293	.5568	.5091	.3348	.1498	.1259	.0056	-.0479	.0024	.0259	.3069	.0629	.1255	.1487
X ⁶ T.N.	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	.5091	.5091	.3348	.1498	.0763	.0119	-.0139	-.0122	.1114	.2689	.1415	.1182	.0149
X ⁷ P ₂ O ₅	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	.2558	.2046	.2188	-.0552	.1574	.1209	.2015	.2564	.1124	.1213	.0762
X ⁸ C.E.C.	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	.821	-.0261	.0365	-.1200	-.2226	.0422	-.0710	.2069	.0559	-.0525
X ⁹ Exc. K ⁺	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	.3192	.1077	.1279	.1379	.0689	.1222	.0028	.0191	.0592
X ¹⁰ Exc. Na ⁺	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	.2522	.3008	.3453	.1534	-.0595	.0066	.2720	.0995
X ¹¹ Exc. Ca ⁺⁺	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	.6152	.6765	.0420	-.0023	.0127	.0991	.0542
X ¹² Exc. Mg ⁺⁺	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	.6785	-.0154	-.0464	-.0497	-.0923	.0720
X ¹³ Base saturation	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
X ¹⁴ Altitude	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
X ¹⁵ Soil depth	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
X ¹⁶ Content of gravel	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
X ¹⁷ Slope percentage	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
X ¹⁸ Distance between sea and tree	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

수 $r=0.6498$ 로 계산되었고($p<0.01$), 그 다음은 경사도 $r=-0.5744$, 유기물함량 $r=0.5320$, 전질소함량 $r=0.4403$ 순으로 나타났다. 그러므로 이들을 海松林分の 地位指數에 관여하는 인자로 제시할 수 있겠으나, 설명변수들 간의 내부상관을 배제할 수 없는 관계로 정확한 판정을 내리는 것은 약간의 무리가 따르므로, 내부상관을 완전히 배제한 변수간의 상관관계를 구명하여야 한다.

2) 海松林分の 地位指數와 土壤 및 環境因子간의 偏相關關係

다음 Table 5는 내부상관에서 海松의 樹高生長에 영향하는 인자 선정에 대한 판단 誤謬를 막기 위하여 변수 상호간의 상관을 완전히 배제한 편상관계수를 계산한 것이다.

Table 5에서, 海松林分の 地位指數에 직접적으로 영향하지 않으면서 설명변수간의 상관관계가 높은 설명변수를 고정시킨 상관관계 즉, 편상관계수를 계산한 결과, 역시 유효토심이 가장 높은 상관계수 $r=0.6270$ 로 海松의 生長에 깊이 관여하고 있다. 그외 경사도 $r=-0.5423$, 염기포화도 $r=0.3278$ 로 이들 인자가 海松林分の 地位指數에 약간의 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 林地의 경사도가 海松林分の 地位指數에 負의 상관으로 나타나, 지나친 경사는 海松의 生長을 저해하고 있음을 알 수 있다.

3) 海松林分の 地位指數와 土壤 및 環境因子간의 回歸分析

회귀분석법중 가장 많이 사용되는 단계적회귀 분석은 회귀변수간의 강한 상관관계인 多重共線性(multicollinearity)을 배제하여 정상적인 회귀모형을 도출하고자 함이 주목적이다. 이를 위하여 이 분석에서는 회귀변수간에 多重共線性이 있는지를 共線性診斷을 통하여 파악한 후, 각 회귀변수를 표준화시키고, 分散膨脹要因(variance inflation factor)을 최소화시킨 분석모델에 의하여 海松生長과 각종 土壤 및 環境因子간의 관계를 분석하였는데, 그 결과는 다음과 같다.

Table 6에서, 林木生長에 관여하는 많은 인자가운데 海松林分の 地位指數, 즉 樹高生長과 유기적으로 상호 연계하며 영향을 미치는 인자의 집합은 유효토심, 경사도, 유기물함량, 염기포화도, 토양산도, 미사함량 및 치환성 Ca^{++} 로 나타나, 이들 인자군이 海松林分の 地位指數를 결정하는데 주요한 인자로 작용하고 있음을 알 수 있

다. 이때 회귀모델의 결정계수 $R^2=0.7668$ 로 설명력이 높았으며, 회귀계수의 유의성을 검정한 결과 1% 수준에서 유의성이 인정되었다.

이와 같은 결과는 Carmean²⁾의 douglas fir 生長, Froehlich 등¹¹⁾의 contorta 소나무, Chandler 등³⁾의 loblolly pine, shortleaf pine 生長, Mader 등¹⁸⁾의 red pine 生長, Schutz²³⁾의 patura 소나무 生長 등에 관한 研究에서 林木生長에 影響하는 環境因子와 거의 일치하였고, 또한 鄭⁵⁾의 낙엽송, 李 등¹⁴⁾의 리기테다소나무 生長, 朴 등²¹⁾의 중부지방소나무에 關여하는 인자의 研究 결과와 유사한 傾向을 보였다.

그러나 이러한 결과는 鄭⁵⁾의 곰솔生長에 關여하는 環境因子와는 약간의 차이를 보이고 있고, 林業研究院²⁶⁾의 立地環境과 生長간의 보고되는 環境因子에 있어서만 유사한 결과를 나타내고 있다.

추정식은 $Y=13.2691+0.0242 X_2-1.2244 X_4+0.6142 X_5-0.3472 X_{11}+0.0355 X_{13}-0.1552 X_{15}-0.1002 X_{17}$ 로 도출되었다. 이 식에서 투입 변수의 유의수준(significance level for

entry)과 회귀식내에 잔존할 수 있는 유의수준(significance level for staying)을 신뢰구간 95%로 고정시키는 통계적 방법을 통해 회귀식에 대한 설명력과 유의성을 높이고자 하였다. 따라서 이 회귀식은 海松林分の 地位指數를 土壤 및 環境因子에 의하여 추정할 수 있는 추정모델로서, 이를 海松林의 經營관리에 活用한다면 대단히 有用할 것으로 판단된다.

2. 海松林分の 地位指數와 土壤 및 環境因子 間の 要因分析에 따른 回歸分析

1) 海松林分の 地位指數와 土壤 및 環境因子간의 要因分析

海松林分の 地位指數에 影響하는 많은 土壤 및 環境因子를 집단화시키는 모델선택은 主軸因子法을 적용하였다. 주성분 추출을 直交回轉法에 의해 요인분석한 것과, 인자를 grouping한 결과는 Table 7과 같다.

Table 7에서, eigenvalue 1.0 이상인 주성분을 도출한 결과 6개의 factors가 나타났다. 제 1 요인 집단은 토양산도와 염기류가 하나의 집단을

Table 5. Partial correlation coefficients between site index of *Pinus thunbergii* stands and soil and environmental factors

Var.	X ¹	X ²	X ³	X ⁴	X ⁵	X ⁶	X ⁷	X ⁸	X ⁹
Y	.1677 (.029)	.1823 (.017)	.1711 (.026)	-.2341 (.002)	.2957 (.000)	.1226 (.112)	.0037 (.962)	.0122 (.875)	-.1407 (.068)
X ¹⁰	X ¹¹	X ¹²	X ¹³	X ¹⁴	X ¹⁵	X ¹⁶	X ¹⁷	X ¹⁸	
.1004 (.194)	-.1632 (.034)	-.0097 (.901)	.3278 (.000)	-.0269 (.729)	.6270 (.000)	-.0222 (.774)	-.5423 (.000)	.1462 (.058)	

Note : () : Prob. > | R | under H₀ : partial Rh₀=0

Table 6. The contribution of significant soil and environmental factors to total variation in the site index of *Pinus thunbergii* stands by stepwise regression analysis

Entered variables	R ²	Regr. coeffi.	S.E.	F-value	Prob>F
X ¹⁵ effective soil depth	0.4223	0.1552	0.0134	134.29	0.0001
X ¹⁷ Slope percentage	0.5943	-0.1002	0.0094	114.18	0.0001
X ⁵ Organic matter	0.7035	0.6142	0.0774	63.03	0.0001
X ¹³ Base saturation	0.7223	0.0355	0.0064	30.90	0.0001
X ⁴ Soil pH	0.7522	-1.2244	0.3249	14.21	0.0002
X ² content of silt	0.7613	0.0242	0.0081	8.89	0.0033
X ¹¹ Exchangeable Ca ⁺⁺	0.7668	-0.3472	0.1694	4.20	0.0418
Constant		13.2691	1.7428	57.97	0.0001
Total	0.7668			83.61	0.0001

형성하여, 海松林分の 地位指數와 토양산도 및 염기포화도간에는 正의 상관으로 나타났다. 제 2 요인 집단은 대부분 林木의 生長에 영향하고 있는 토양의 비옥도 집단이고, 제 3 요인 집단은 土壤의 性質, 제 4 요인 집단은 林木의 生長에 관여하는 지형적 인자, 제 5 요인 집단은 치환성 염기류, 그리고 제 6 요인 집단은 海松林分과 해안과의 거리로 구분되었다.

그리고 이들 6개 요인 집단이 海松林分の 地位

指數에 관여하는 영향인자를 집단화 할 수 있는 설명력 즉, 누적기여율은 71.7%로서 약간 높게 나타났다.

한편 변수들을 線形結合한 요인점수계수가 요인집단별로 나타나 있는데, 여기에 변수의 원자료가 아닌 평균 0, 표준편차 1인 표준화된 점수를 대입하여 요인점수를 산출하여 요인점수와 海松林分の 地位指數와의 관계를 분석하였다.

Table 7. Principal components, eigenvalue and communality by factor analysis

Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
X ⁴ Soil pH	0.6589	0.0297	-0.2505	0.0125	-0.2330	0.1112
X ¹¹ Ex. Ca ⁺⁺	0.8376	0.0074	0.0652	0.1080	0.0772	0.0911
X ¹² Ex. Mg ⁺⁺	0.8302	-0.1168	0.1705	-0.0948	0.1963	-0.0774
X ¹³ Base sat.	0.8345	-0.0473	-0.1430	-0.0892	0.2474	0.0351
X ⁵ O.M.	0.0038	0.8493	0.1056	-0.1185	0.1253	0.0577
X ⁶ T.N.	0.0292	0.8237	0.2267	-0.0368	0.0359	-0.0847
X ⁷ Avail. P ₂ O ₅	-0.1643	0.7743	-0.0909	0.1858	0.2380	0.0706
X ¹ Sand	0.0365	-0.1138	-0.9749	0.0104	-0.0240	0.1145
X ² Silt	-0.0498	0.2140	0.7819	0.2465	-0.0210	0.2786
X ³ Clay	-0.0102	-0.0461	0.6921	-0.2839	0.0610	-0.4570
X ¹⁴ Altitude	-0.0281	0.0682	0.0935	0.7395	0.0926	0.0975
X ¹⁵ Soil depth	0.0495	0.4427	-0.0551	-0.4543	-0.1731	0.2931
X ¹⁷ Slope	-0.0083	-0.0784	-0.0857	0.8366	0.0757	0.0141
X ⁹ Ex. K ⁺	0.0840	0.1984	0.0354	0.0774	0.6367	-0.0551
X ¹⁰ Ex. Na ⁺	0.2881	0.1227	-0.0106	0.2590	0.6883	-0.1265
X ¹⁶ Gravel	0.1268	0.2718	-0.0157	0.4174	-0.4653	-0.3293
X ⁸ C.E.C.	-0.1314	0.4107	0.2343	0.1658	-0.1575	-0.4761
X ¹⁸ D.L.S.	0.0723	0.1085	0.0196	0.0674	-0.1252	0.7174
Eigenvalue	3.1661	2.7468	2.0492	1.9393	1.5451	1.2109
Communality (%)	17.6000	32.8000	44.2000	55.0000	63.7000	71.1000

Table 8. Stepwise regression analysis using factor score

Entered var.	R ²	B	Beta	T	Signif.
FS 3	0.5372	-1.5552	-0.7330	-25.233	0.000
FS 1	0.7873	1.0606	0.4999	17.209	0.000
FS 6	0.8256	0.4113	0.1939	6.674	0.000
FS 4	0.8441	0.2974	0.1402	4.825	0.000
FS 2	0.8481	0.1308	0.0617	2.213	0.035
Constant		11.5419		187.777	0.000
Total	0.8481			F=201.040	0.000

Note : FS=regression factor score

B=regression coefficient

Beta=standardized regression coefficient

2) 海松林分の地位指數와 要因點數와의 段階的回歸分析

많은 土壤 및 環境因자를 유형별로 축약시켜 6개의 요인점수가 산출되었는데, 이들 요인점수와 海松林分の地位指數와의 관계를 파악하기 위하여 단계적회귀분석을 실시한 결과는 Table 8과 같다.

Table 8에서, 총 6개 요인집단의 要因點數중 단계적회귀분석에 사용되어진 것은, 먼저 요인 3의 점수 즉, 土壤의 性質이 가장 먼저 투입된 변수였고, 그 다음이 요인 1집단의 점수 즉, 토양중 염기류 집단이 단계적회귀분석에 투입되어 회귀모델의 설명력을 78%까지 높여 주고 있다. 그리고 가장 마지막으로 제 2요인 점수인 토양의 비옥도 집단이 분석에 투입됨으로서 분석모델의 설명력은 85%로 나타났고, 유의성 검정 결과 1% 수준에서 유의성이 인정되었고, 채택된 회귀모델의 적합도는 높게 나타났다.

이는 개개의 변수를 투입하여 단계적 회귀분석을 실시했을 때 보다 설명력이 약 10% 정도 높게 나타나, 요인점수를 이용한 회귀분석이 더 정확하고, 타당하다고 할 수 있겠다. 그러므로 개개의 설명변수가 반응변수에 영향을 미치는 정도를 분석하는 경우를 제외하고는, 요인분석을 통한 회귀분석이 시간의 절약뿐만아니라 회귀계수간 존재하는 다중공선성을 줄일 수가 있기 때문에 분석 결과의 정확성 및 간편성을 제고하는 측면에서 보다 유용할 것으로 판단된다.

結 論

우리나라의 주요 造林樹種으로 되어 있는 海松의 林分을 대상으로 하여 土壤의 理化學的性質 및 森林環境因자가 樹齡 對 樹高生長에 의하여 결정되는 地位指數에 어느 정도, 어떻게 영향을 미치는가를 究明하기 위하여, 일차적으로 相關分析과 回歸分析을 실시하고, 다음으로 要因分析에 의하여 산출된 要因點數와 地位指數와의 관계를 回歸分析한 결과에 따라 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

海松林分の 土壤 및 環境因자와 地位指數간의 關係에 있어서 有效土深, 有機物含量, 全窒素含量 등이 正의 相關으로, 傾斜도가 負의 相關으로 나타났으며, 변수간의 內部相關을 완전히 배제한

상태의 偏相關關係는 有效土深, 傾斜度, 鹽基飽和度 등이 海松의 樹高生長에 밀접하게 관계하고 있음을 알 수 있었다. 그리고 森林의 土壤 및 環境因자에 의하여 海松林分の 地位指數를 추정할 수 있는 회귀식은 $Y=13.2691+0.0242 \text{ Silt}-1.2244 \text{ pH}+0.6142 \text{ O.M.}-0.3472 \text{ Exc. Ca}^{++}+0.0355 \text{ B.S.}+0.1552 \text{ Soil depth}-0.1002 \text{ Slope}$ 으로 推定되었고, 추정식에 대한 설명력은 77%로 나타났다.

이와 같은 多重回歸分析을 실시할 때 소요되는 비용과 시간의 절감 및 분석의 간편성을 추구하면서 각종 정보를 얻을 수 있는 要因分析을 실시한 후, 回歸分析을 시도한 결과, eigenvalue 1.0 이상의 主成分 수는 총 6개가 選定되었고, communality는 71%로서 6개의 主成分에 대한 奇異度를 설명하여 주고 있다.

다음으로 要因分析에 의하여 계산되어진 要因點數와 海松林分の地位指數간의 關係를 回歸分析한 결과, 총 6개의 主成分중 5개만이 變數로 투입되어지는 回歸模型이 설정되어졌는데, 설명력은 개개 변수를 투입한 것보다 약 10%가 높은 85%로 나타나 要因點數를 이용한 回歸分析이 林木生長과 森林環境因자와의 關係究明에 합리적인 통계적 분석방법이라고 할 수 있다.

이상의 결과에 따라 海松의 現實林分을 보다 理想的인 森林으로 誘導하는데 기대되는 효과는, 無立木地 또는 立木地에 대한 適地選定 기준을 설정함으로써 海松林分の 개발확충에 활용할 수 있고, 現實林分の 부적합한 土壤條件과 環境을 개선할 수 있으며, 林地의 林木生産能力의 指標가 되는 地位指數를 추정하여 營林計劃을 수립하는데 직접적으로 이용될 수 있을 것이다. 아울러 海岸의 植栽地를 확대함으로써 森林의 經濟的機能인 用材生産과 防風林, 風致林으로서의 公益的機能을 동시에 발휘하도록 하는 海松林分の 經營管理에 크게 奇異할 것으로 기대된다.

引用文獻

1. Auten, J.T. 1945. Prediction of site index for yellow poplar from soil and topography. J. For. 43 : 662-668.
2. Carmean, W.H. 1954. Site quality for doug-

- las fir in southwestern Washington and its relationship to precipitation, elevation and physical soil properties. *Soil Sci. Proc.* 18 : 330-334.
3. Chandler, R.F., P.W. Schoen, and D.A. Amderson. 1943. Relation between soil types and the growth of loblolly pine and shortleaf pine in east Texas. *J. For.* 41 : 505-506.
 4. 鄭印九. 1981. 數量化에 의한 우리나라 森林土壤의 形態學的 및 理化學的 性質과 잣나무 및 낙엽송의 生長 相關分析. 韓國林學會誌 53 : 1-26.
 5. ———. 1982. 森林土壤의 理化學的 性質과 음술 외 3樹種에 대한 適地特性에 관한 研究. 林業試驗場研究報告 29 : 263-315.
 6. 鄭台鉉. 1949. 造林主要樹種의 分布 및 適地. 大韓林業會. 66pp.
 7. 鄭永觀. 1980. 土壤의 理化學的 性質 및 環境因子가 편백의 生長에 미치는 影響. 慶尙大 農業研究所報 41 : 1-29.
 8. ———, 麻鎬燮. 1987. 대나무 適地選定에 관한 研究. 慶尙大 論文集(生農系編) 26(2) : 139-147.
 9. ———, ———. 1988. 多變量分析에 의한 海松의 樹幹生長解析. 慶尙大 農業資源利用 研究所報 22-2 : 107-113.
 10. Coile, T.S. 1952. Relation of site index for shortleaf pine to certain physical properties of the soil. *J. For.* 50 : 726-730.
 11. Froehlich, H., Miles, D.W.R., and Robbins, R.W. 1986. Growth of young *Pinus contorta* on compacted soil in central Washington. *For. Ecol. Manage.* 15 : 285-294.
 12. 樋口國雄 外 5人. 1984. 多變量解析によるクマイサ群落の現存量の研究. 日本林學會誌 66(1) : 33-35.
 13. 金甲德 外 4人. 1988. 中部地方 主要樹種의 林分構造와 生長特性에 관한 研究. 林産에너지 8(2) : 41-53.
 14. 李天龍 外 4人. 1987. 리기테다소나무의 造林適地에 관한 研究. 韓國林學會誌 76(3) : 200-205.
 15. 李光南·車景洙. 1987. 多變量分析에 의한 竹幹의 生長解析에 關하여. 韓國林學會誌 76(4) : 338-347.
 16. 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 관한 研究. 林業試驗場研究報告 21 : 41-116.
 17. ———. 1974. 環境因子의 數量化에 의한 地位指數推定. 林業試驗場研究報告 21 : 117-150.
 18. Mader, D.L., and D.F. Owen. 1961. Relationships between soil properties and red pine growth in Massachusetts. *Soil Sci. Soc. of Amer. Proc.* 25(1) : 62-65.
 19. Mckee, W.H. 1977. Soil site relationships for loblolly pine on selected soils. *For. Ser. Proc. Six Southern Forest Soil Workshop* : 115-120.
 20. 西澤正久·眞下育久. 1966. 地位指數による 林地生産力の測り方. 林業研究解説 No. 15 : 30-47.
 21. 朴南昌·孫英模·鄭永觀. 1992. 소나무林分의 樹高生長과 土壤의 理化學的 性質간의 關係. 慶尙大 農漁村開發研究 10 : 79-85.
 22. Richards, N.A., R.R. Marrow, and E.L. Stone. 1962. Influence of soil and site on red pine plantations in New-York 1. Stand development and site index curves. *Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bull.* 977 : 3-23.
 23. Schutz, C.J. 1990. Site relationships for *Pinus patula* in the the Eastern Transval Escarpment area. Thesis, Univ. of Natal, South Africa. 333pp.
 24. 성내경. 1991. SAS/STAT -회귀분석-. 자유아카데미. 서울. 276pp.
 25. Thomson, G.W., and A.L. McComb. 1962. Growth of Plantation black walnut in relation to pH and certain chemical factors of soil. *For. Sci.* 8(4) : 322-332.
 26. 土壤調査班. 1988. 立地環境因子에 의한 地位指數에 관한 研究. 林業研究院研究報告 36 : 22-43.
 27. 尹鍾和. 1972. 多變量解析에 의한 林木生長에 관한 研究. 江原大學 演習林報告 1 : 3-55.