

토양의 물리화학적 성질에 의한 소나무림 임지생산력 추정

박남창 · 이광수 · 정수영^{1,*}

국립산림과학원 남부산림연구소, ¹경상대학교 농업생명과학대학 학술림

Estimation of Site Productivity of *Pinus densiflora* by the Soil Physico-chemical Properties

Nam-Chang Park, Kwang-Soo Lee, and Su-Young Jung^{1,*}

Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea

¹The Research Forests, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

We estimated site productivity for unstocked land based on the relationship between site index (i.e., average height of dominant trees at fixed age) and soil physico-chemical properties of *Pinus densiflora* stands. Site index relates to a direct method of determining a tree's response to a specific environment such as forest soil and climate conditions. We selected 78 sites in 22 *P. densiflora* stands of central temperate forest zone, and sampled soils for physicochemical analyzing. And 13 properties of soils were statistically treated by stepwise regression. In the degree of contribution of the variables to site index, the highly effective variables in A horizon were OM, clay content, sand content, available P₂O₅, and Exch. Ca⁺⁺ in order, and in B horizon T.N., O.M., Soil pH, cation exchange capacity(C.E.C.), and sand content in order. In both A and B horizon of the soil for *P. densiflora* stands, the variables commonly contributed to the site index were sand content and OM. These results may be useful to provide not only important criteria for establishment of *Pinus densiflora* stand especially in unstocked land but also a guidance for reforestation.

Key words: Forest soil, *Pinus densiflora*, Unstocked land, Site index

서 론

우리나라의 과거 조림은 치산녹화, 사방 및 연료림 생산 등을 목적으로 최단기에 시행되어 사면안정화 및 국토보전에 크게 기여하였으며, 이렇게 조성된 산림은 이산화탄소흡수원으로서 기후완화 및 국제적 탄소배출권 인정에 있어 더욱 그 역할이 증대되고 있다. 그러나 과거에 조성된 조림지의 임목생장은 지역에 따라 그 차이가 심하여 수종갱신이 절실히 요구되고 있다. 특히 벌채 후 조림 예정지나 미립목지의 수종갱신에 의한 Biomass 등의 임목자원가치 및 산지이용효율성 증대는 당면한 과제이다. 한편 입지환경인자는 서로 유기적인 관계를 형성하면서 임목생장에 중요한 영향을 미치는데 (Klock *et al.*, 1984), 그 중에서 임지의 생산능력 즉, 地位는 우세목의 수고, 기상, 입지환경, 생태환경, 토양 등을 조사함으로써 직간접적으로 판정할 수 있다 (Chung, 1981; Corona *et al.*, 1998). 특히 지위지수에 의한 지위추정의 방법은 표본점을

설정하여 수종별 수령과 수고의 관계를 이용하여 적합화된 비선형생장곡선식 등에 의하여 지위지수를 추정하는데, 이러한 방법은 무림목지나 나대지 혹은 수종갱신지 등의 임목이 존재하지 않는 지역에서는 적용할 수 없는 한계가 있다(Shin *et al.*, 2007). 이러한 미립목지의 경우에 있어서도 조림 적지에 최적의 수종을 선정하는 것은 반드시 필요하며, 이 또한 입지환경특성 및 지위와의 관계 특성을 구명함으로써 가능하다. 산림의 환경인자를 이용한 간접적인 지위지수 추정 방법으로는 기후특성, 생태적환경요인특성 및 표고, 경사형태 및 토성 등의 토양의 물리적 성질 즉, 입지환경인자에 의하여 지위지수를 추정하는 방법이 대부분이었으나(Graney and Ferguson, 1971; Herman *et al.*, 1978; Hansen and Bilan, 1989), Chung(1980, 1981)과 Klock *et al.*(1984)은 임목생장에 관계하는 환경 인자로서 산림토양의 화학적 성질이 물리적 성질 못지않게 임목생장의 주요 요인이 됨을 보고한 바 있다. 또한 산림토양의 층위별 질소, 인산, 미사+점토, 토양 B 층의 두께, A 층의 색깔 등의 토양특성을 분석함으로써 조사 지역의 주요수종에 대한 보다 정밀한 임지생산력 혹은 지위지수를 추정할 연구가 수행된

접 수 : 2009. 5. 14 수 리 : 2009. 6. 4

*연락처 : Phone: +821027340069,

E-mail: suyongjung@gmail.com

바 있다 (Alban, 1974; Johnson *et al.*, 1987). 한편 Ma(1974)와 Chung(1981)의 수량화 이론에 의한 각 수종의 임지생산력, 즉 지위지수 추정 결과에서 낙엽송임분은 염기포화도, 유기물 등이 주된 판정인자였으며, 잣나무 임분은 유효인산, 총염기함량이 주된 토양 영향인자임을 보고하였다. Lee and Chung(1986)은 굴참나무 임분의 생산력을 추정하는데 있어서 총질소, 유효토심, 유기물 등이 주된 산림토양 영향인자임을 보였다.

A층 및 B층 토양인자로부터 단계별 회귀분석법에 의한 지위지수 추정에 관한 연구에서, Alban(1974)은 토양배수가 양호한 사질토양 인자가 *P. resinosa* 임분의 지위지수 추정에 주된 결정인자($R^2=0.77$)라고 하였으며, Graney and Ferguson(1971)은 고도, 사면경사형태, 방위 및 토양 A층의 석력함량이, Johnson *et al.*(1987), Son *et al.*(1990) 등은 국소지형, 토양경도, 토양 B층 깊이, 유효토심 등이 임지생산력에 주된 영향을 주는 토양인자라고 하였다.

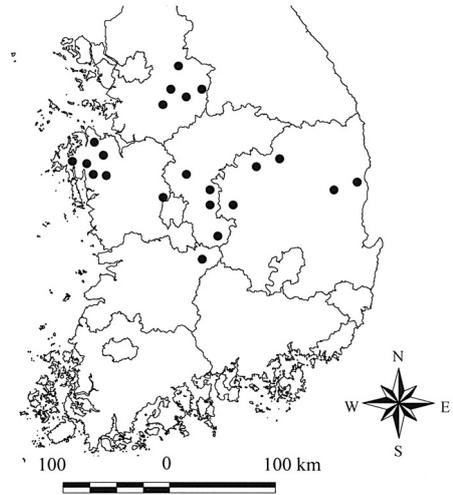
이러한 토양의 특성에 관한 각 수종별 지위지수의 추정 연구는 해당 지역에서 적지선정에 크게 기여하였으며, 그 연구결과를 토대로 수행한 시험수종의 식재는 성공조림지로 거듭나고 있다(Hansen and Bilan, 1989; Fonts *et al.*, 2003). 한편 Mitsuda *et al.*(2007) 및 Shin *et al.*(2007)은 최근 지리정보시스템(GIS)의 입지환경인자 특성을 분석하여 대면적에서의 소나무류 등의 지위지수를 보다 효율적인 방법으로 추정할 바 있으나, 산림토양의 화학적 특성을 포함시키지는 못하고 있다. 이를 조사하는데는 비교적 장기간의 시간 및 제반 노력이 요구 되지만, 임지생산력에 미치는 산림토양의 화학적 성질의 기여도를 고려해 볼 때 주요 경제수종별 산림토양의 이화학적 성질에 관한 조사·분석 병행되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 우리나라의 주요 침엽수종인 소나무 임분에 대한 산림토양의 물리화학적 성질을 분석하여, 미립목지에서의 소나무림 임지생산력을 직접적으로 추정함으로써 금후 조림예정지를 대상으로 성공적인 소나무 후계림을 조성하는데 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

조사대상지 및 연구범위 조사지는 중부지방 산림중에서 척박지로부터 우량임지에 걸쳐 생육하고 있는 1 ha이상의 면적을 지닌 소나무 임분 22개소를 선정하였다. 소나무 임분에서 산림토양의 물리화학적 성질을 측정하기 위하여 78개의 조사구를 선정하였으며, 각 조사구 내 표준지의 토양을 A층과 B층으로 구분하여 각각 1kg의 토양시료를 채취하였다. 조사지역의

분포도는 Fig. 1과 같다.



● : *Pinus densiflora* stands

Fig. 1. Map of surveyed sites.

중부지방 조사지역에서 소나무 임분의 토양단면특성을 볼 때 A층의 토양발달이 미숙단계에 있어 B층의 토양 또한 분석이 필요할 것으로 판단되었다. 따라서 본 조사에서는 소나무림의 토양을 A층 및 B층을 대상으로 하여 각 층위별 토양의 이화학적 특성에 따른 소나무림의 수고생장 및 지위를 분석하고자 하였다. 그리고 본 연구에서 분석되어진 소나무림의 지위 추정 결과로부터 미립목지에서의 지위를 추정하는데 그 주된 목적을 두었으며, 표고, 경사, 방위 등의 입지환경요인 특성은 본 연구의 범위에서 제외하였다.

Table 1에서 소나무임분 등급은 II 등급에서 VII 등급의 범위에 분포하며, 평균 등급은 III 등급으로 나타났다. 지위지수는 7.5~12.0의 범위에 해당되었다.

지위지수 사정 산림토양의 물리화학적 성질에 따라 조사대상 임지의 지위지수를 추정하기 위하여 유령임분에서 20m × 25m, 장령림에서는 40m × 40m의 조사구를 선정하였다. 선정된 조사구내의 임분에 대한 지위지수 사정은 우세목 평균수고와 평균수령을 조사한 후 지위지수분류곡선을 이용하여 20년생 우세목의 평균수고를 기준으로 0.5m 단위로 사정하였다. 조사임분에 대하여 토양 층위별 조사구수 및 지위지수 사정 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 소나무임분의 토양 층위별 지위지수는 각 표준지에서 우세목의 수령이 20년일 때의 평균수고를 조사하였으며, 그 분포 범위는 최소 7.5에서 최대 12.9까지 나타났다. 그리고 지위별 조사구의 개수가 다르게 나타난 이유는 토양샘플링 이후 화학성분

Table 1. Soil and stand characteristics surveyed in *P.densiflora* stands.

| Districts [†] | Climatic zones | Parent rock | Soil texture [‡] | Soil depth (cm) | Slope degree | Local topography | Aspect | Age (yrs) | Height (m) | Site Index |
|------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------|--------------|-------------------|----------|--------------|-------------------|-------------------|
| CCN | Southern temperature | Igneous, Sedimentary, tamorphic | L, SL, SCL | 6~47 | 15~20 | Foot of hill | N,NE, SW | 28 /22~65 | 11.7 /9.0~21.0 | 10.7 /8.5~12.0 |
| CCB | Central temperature | Igneous, Sedimentary | L, SCL | 2~45 | 31~35 | Hilltop | N,SE | 28 /18~54 | 12.1 /6.9~18.7 | 10.3 /8.8~11.9 |
| GSB | Northern temperature | Igneous, Sedimentary, tamorphic | L, SCL, SL | 12~76 | 31~35 | Hillside, Hilltop | N,NW | 29 /21~49 | 13.8 /9.3~20.1 | 9.4 /8.3~11.5 |
| GG | Northern temperature | Igneous, Metamorphic | L, SC | 5~45 | 25~35 | Hillside | N,NE | 26 /18~43 | 13.2 /7.2~19.4 | 9.6 /7.9~11.7 |
| JLB | Central temperature | Igneous | LSC, C | 8~43 | 26~30 | Hillside | N,NW | 28 /18~53 | 12.9 /6.0~20.6 | 9.2 /7.5~10.8 |

[†] CCN : Chungcheongnam-Do, CCB : Chungcheongbuk-Do, GSB : Gyeongsangbuk-Do, GG : Gyeonggi-Do, and JLB : Junlabuk-Do.

[‡] L: Loam, SL: Silt loam, SCL: Silty clay loam, SL: Silty loam, SC: Silty clay, and C: Clay.

Table 2. Distribution of sample study plots by site indices.

| Site Index | Number of sample plots in <i>P.d.</i> [†] stands classified by soil horizon | | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|--------|
| | A (Ratio) | | B (Ratio) | |
| 7.5 | 4 | 5.13% | - | - |
| 8.0 | 7 | 8.97% | 4 | 5.13% |
| 8.5 | 12 | 15.38% | 4 | 5.13% |
| 9.0 | 15 | 19.23% | 11 | 14.10% |
| 9.5 | 17 | 21.79% | 11 | 14.10% |
| 10.0 | 9 | 11.54% | 23 | 29.49% |
| 10.5 | 5 | 6.41% | 11 | 14.10% |
| 11.0 | 8 | 10.26% | 7 | 8.97% |
| 11.5 | 1 | 1.29% | 5 | 6.41% |
| 12.0 | - | - | - | - |
| Total | 78 plots | | 78 plots | |

[†] *P.d.* stands : *Pinus densiflora* stands.

석에서 오염되거나 비정상적인 A층 혹은 B층의 일부 시료는 폐기되었기 때문이다. 따라서 각 층위별 조사구 개수가 일부 차이가 발생하였으며, 이에 대한 토양 층위별 지위지수는 Table 2와 같다.

토양시료 분석 선정된 조사지에서 토양 A층과 B층에서 0.5~1.0kg의 토양시료를 채취하였다. 현지에서 토양 층위별로 샘플링한 토양 시료는 실내에서 건조 후 이들의 이화학적 성분 분석 방법은 국립산림과학원의 표준임업시험실시요령(Korea Forest Research Institute, 2002)에 의하였다.

통계적 분석 토양의 물리화학적 성질인 Sand(X_1), Silt(X_2), Clay(X_3), pH(X_4), OM(X_5), TN(X_6), 유효 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 독립변수로 하고 지위지수(Y)를 종속변수로 하여, 지위지수와 관계가 깊은 독립변수를 차례로 선택하는 전진적 단계별 회귀분석 방법을 이용하였으며, 분석에 이용된 통계패키지는 SAS ver 9.1이었다. 실측치와 추정치간의 표준화된 잔차를 구하여 추정식의 적합도(goodness of fit) 검정을 실시하였으며, 또한 분석된 잔차 통계량에 대하여 SSR(Sum of Squared Residuals), PRESS(Predicted Residual SS), 더빈왓슨 통계량(Durbin-Watson D), 샤피로-윌크 W통계량(Shapiro-Wilk W) 등을 구하여 식의 적합성 및 잔차간의 상관관계 및 그 정규성을 분석하였다. 추정된 다중회귀식에서 토양의 물리화학적 성질 각각이 지위지수 추정에 미치는 독립적 영향을 파악하기 위하여 표준편회귀계수를 구하였으며, 그 크기에 따라 지위지수

에 영향을 미치는 각 인자의 기여도를 판정하였다 (Korea Forest Research Institute, 1992).

결과 및 고찰

산림토양의 물리화학적 성질 소나무임분의 토양 A, B층에 대한 물리화학적 성질에 의하여 지위지수를 추정하기에 앞서 토양 층위별 물리화학적 성질에 대한 평균, 최대, 최소치를 구한 결과는 Table 3, 4와 같다. 본 조사의 수치자료는 1990년대 이후 ~ 2007년에 걸쳐 조사되어 이 기간 동안 분석했었던 결과치를 누적하여 취합한 결과이다.

Table 3은 임분의 토양 층위별 물리적 성질에 대한 조사 결과이며, 토양 입경치의 평균값은 모래, 미사, 점토성분 함량의 순으로 나타났다. 그리고, 이들 임분의 토양은 현지조사에서 대부분 양토 혹은 사양토인 것으로 조사되었다.

Table 4에서 임분의 토양 층위별 화학적 성질에 대한 조사 결과 pH의 범위는 전체 임분에서 최소 4.6에서 최대 6.4로 조사되었다. Hotta(1990)는 침엽수의 생육에 간접적으로 지장을 초래하는 pH는 4.5이하라고 한 보고와 비교해 볼 때 본 조사지의 소나무림은 토양산도에 의한 생장에 큰 지장이 없는 것으로 낮으나, 조사지 토양의 화학적 성분은 대부분 함유량이 낮

게 나타났다. 이러한 조사 결과는 Kim et al.(1988)의 중부지방 소나무 임분에 있어서 토양 층위별 물리화학적 성질이 여타 수종의 임분에 비해 그성분 함량이 대체적으로 낮게 나타났다는 조사 결과와 유사한 경향으로 나타났다.

지위지수 영향인자 선정 임목의 생육에 관계하고 있는 환경인자들은 상호 복합적으로 관련되어 직간접적 상호연관성을 지니고 이들의 생육에 영향을 미친다. 따라서 미립목지 산림토양의 물리화학적 성질에 의한 지위지수를 추정하기에 앞서 소나무 임분 내 토양의 물리화학적 성질의 13개 인자에 대하여 독립성 검정을 실시한 결과 임분의 토양층위별 모래, 미사, 점토 간에는 내부상관이 대체로 높게 나타났다. 따라서 모래, 미사, 점토 인자 중 서로 상관이 낮은 모래와 점토만을 분석인자로 선택하였다. 즉, 토양의 물리화학적 성질 중 미사를 제외한 12개 인자만을 단계별 회귀분석에 투입시켜 유의성 검정을 실시하였다. 선정된 토양의 물리화학적 성질들에 대한 단계별 회귀분석을 실시한 결과는 Table 5와 같다.

A층 토양인자에 의한 지위추정에 있어서는 유의한 10개의 독립변수가 최종 지위지수 추정모형에 선정되었으며, 이때 결정계수 $R^2=0.985$ 이었다(Table 5). 소나무임분의 토양 B층에 있어서는 유의성 검정 결과 t값

Table 3. Distribution of the soil separates by horizons in soil profile.

| Soil layer | Soil content | Sand | Silt | Clay |
|------------|--------------|---------------|--------|-------|
| | | ----- % ----- | | |
| A | Mean | 47.8 | 36.0 | 16.3 |
| | Max. | 81.4 | 73.6 | 35.0 |
| | Min. | 11.7 | 14.6 | 3.0 |
| | S.D. | 11.326 | 8.888 | 4.515 |
| B | Mean | 45.8 | 36.8 | 17.4 |
| | Max. | 85.6 | 70.5 | 36.0 |
| | Min. | 12.1 | 10.6 | 2.6 |
| | S.D. | 18.635 | 14.080 | 7.424 |

Table 4. Distribution of the chemical properties by horizons in soil profile.

| Soil layer | Range | pH | O.M | T.N | Avail. P ₂ O ₅ | C.E.C. | Exch. cations | | | | Base sat. |
|------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------|
| | | | | | | | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | % | % | ppm | cmol ⁺ kg ⁻¹ | | | | | % |
| A | Mean | 5.5 | 2.30 | 0.11 | 23.8 | 9.18 | 0.19 | 0.27 | 0.95 | 0.44 | 20.2 |
| | Max. | 6.4 | 4.97 | 0.23 | 94.0 | 13.64 | 0.50 | 0.40 | 2.60 | 1.70 | 56.7 |
| | Min. | 4.6 | 0.41 | 0.02 | 6.3 | 5.50 | 0.06 | 0.12 | 0.21 | 0.12 | 5.9 |
| | S.D. | 0.351 | 1.799 | 0.094 | 23.736 | 2.286 | 0.076 | 0.081 | 1.048 | 0.296 | 10.836 |
| B | Mean | 5.4 | 1.80 | 0.09 | 18.2 | 8.36 | 0.16 | 0.26 | 0.70 | 0.49 | 19.3 |
| | Max. | 6.4 | 3.83 | 0.16 | 62.4 | 13.42 | 0.32 | 0.43 | 2.41 | 1.50 | 50.5 |
| | Min. | 4.8 | 0.28 | 0.03 | 3.9 | 3.30 | 0.04 | 0.08 | 0.21 | 0.06 | 7.2 |
| | S.D. | 0.32 | 0.858 | 0.038 | 10.275 | 1.865 | 0.063 | 0.075 | 0.633 | 0.291 | 11.634 |

Table 5. Derivation of equation to estimate site index of *P. densiflora* stands by stepwise regression method and goodness of fit for the estimated model.

| A horizon | | | B horizon | | |
|--------------------------------------------------------|--------------------|-----------|--------------------------------------------------------|-------------|--------------------|
| Variable [†] | Reg. Coeffi | t-value | Variable [†] | Reg. Coeffi | t-value |
| O. M. (X ₅) | 0.653 | 26.918** | T. N. (X ₆) | 27.185 | 37.806** |
| Avail. P ₂ O ₅ (X ₇) | -0.025 | -23.476** | Base Sat.(X ₁₃) | 0.016 | 6.250** |
| Exch. K ⁺ (X ₉) | -2.802 | -13.441** | Exch. K ⁺ (X ₉) | -2.852 | -9.322** |
| Exch. Mg ⁺⁺ (X ₁₂) | 1.005 | 19.060** | Exch. Na ⁺ (X ₁₀) | 2.785 | 11.640** |
| Exch. Ca ⁺⁺ (X ₁₁) | -0.603 | -20.110** | O. M. (X ₅) | -0.515 | -14.856** |
| Clay (X ₃) | -0.094 | -21.912** | Sand (X ₁) | -0.019 | -12.173** |
| C. E. C. (X ₈) | -0.138 | -17.469** | pH (X ₄) | 1.102 | 15.627** |
| Sand (X ₁) | -0.024 | -14.017** | C. E. C. (X ₈) | -0.187 | -13.136** |
| T. N. (X ₆) | -5.236 | -9.803** | Avail. P ₂ O ₅ (X ₇) | 0.021 | 9.969** |
| Exch. Na ⁺ (X ₁₀) | -1.86989 | -6.637** | Clay (X ₃) | 0.03342 | 7.916** |
| Constant | 14.07953 | | Constant | 3.25650 | |
| No. of Selected variable | 10 | | | | 10 |
| F-value | 440.55** | | | | 333.15** |
| R ² | 0.9851 | | | | 0.9803 |
| Adjusted R ² | 0.9831 | | | | 0.9777 |
| SSR | 1.4632 | | | | 2.7612 |
| PRESS | 1.9634 | | | | 4.1584 |
| Durbin-Watson D | 1.7393 | | | | 1.928 |
| Shapiro-Wilk W | 0.9787(P<W=0.2174) | | | | 0.9827(p<W=0.3688) |

[†] Sand: X₁, Silt: X₂, Clay: X₃, pH: X₄, O.M.: X₅, T.N.: X₆, Avail. P₂O₅: X₇, C.E.C.: X₈, Exch. K⁺: X₉, Exch. Na⁺: X₁₀, Exch. Ca⁺⁺: X₁₁, Exch. Mg⁺⁺: X₁₂, Base Sat.: X₁₃. SSR: Sum of Squared Residuals, and PRESS: Predicted Residual SS.

** : Significant at the 1% level.

이 1.682로($t_{0.05}=2.00$) 나타나 유의성이 인정되지 않은 Exch. Ca⁺⁺을 제외한 10개의 독립변수에 의하여 최종 지위추정모형을 도출하였다. 한편, 각 층위별 추정식에 선택된 독립변수의 개수가 다소 많아서 통계적으로 추정식의 경제성이 떨어지고, 현지 적용에 있어서 그 활용성이 떨어질 수 있다. 하지만, 각 임목의 생장은 종의 특성에 따라서 가장 부족한 무기성분량에 의해서 그 생장량이 결정되어짐을 고려할 때 (Verhoevena *et al.*, 1996), 설명력이 높은 2~3개만의 변수를 선택하여 미립목지에서의 지위지수 추정식을 도출하여 조림적지를 판정할 경우 이러한 최소 필수 인자가 고려대상에서 제외되어질 가능성이 있다. 결국 몇몇 주요인자만으로 적지를 판정하여 미립목지에서 조림지를 조성하여 그 임분이 장령림이 되었을 때 지역간 심한 생장 편차가 발생하여 적지적수의 실현이 되지 못할 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 독립변수간의 상관성이 매우 높아 독립성이 인정되지 않는 몇 개 인자를 제외한 가능한 수의 여러 토양인자를 대상으로 추정식을 도출한 결과이다.

지위지수 추정 적합도 토양 층위별 이화학적 성질에 의한 추정된 지위지수 모형에 도입된 인자를 분석해 보면, A층 지위추정에서 토양화학적 성질 중 유

기물, 유효인산, 치환성칼슘, 치환성 마그네슘, 치환성, 칼슘등의 8개 변수와 토양의 물리성과 관련해서는 점토함량비 및 모래함량비의 2개 변수가 채택되어 총 10개의 토양인자가 최종 모형에 채택되었다. 그리고 토양 B층의 경우, 토양의 화학성과 관련해서는 전질소, 염기포화도, 치환성칼륨, 치환성나트륨, 유기물 등의 8개 변수와 점토함량비 및 모래함량비의 2개 변수가 추정모형에 채택되었다. 즉, 조사된 토양자료로부터 미사를 제외한 단계적 회귀모형에 투입되었던 12개 토양인자 중에서 A층의 지위추정모형에 토양산도(pH), 염기포화도, 그리고B 층 지위추정모형에 치환성칼슘과 치환성마그네슘이 유의성이 인정되지 않아 최종 추정모형에서 설명변수로서 채택되지 못하였다 (Table 5).

추정된 소나무림 지위지수 모형의 적합도를 SSR(Sum of Squared Residuals), PRESS(Predicted Residual SS), 더빈왓슨 통계량(Durbin-Watson D), 샤피로-윌크 W통계량(Shapiro-Wilk W)에 의하여 분석하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다. 토양A층의 이화학적 성질로부터 추정된 지위지수 모형의 잔차검정에서 SSR은 1.4632, PRESS는 1.9634로 나타나 식의 적합성이 대체로 높게 나타났다. 잔차에 대한 더빈왓슨(Durbin-Watson D) 값은 1.739로서 잔차 간의

상관관계가 없는 것으로 나타나 추정된 모형이 적합한 것으로 나타났다. 또한 잔차에 대한 정규성검정에서 샤피로-윌크의 W값 (Shapiro-Wilk W)이 0.9787(P(W)=0.2174)로서 정규분포를 보이고 있었다. 토양 B층의 잔차 통계량에 의한 추정식의 적합도 검정에서 A층 추정식에 비하여 그 적합도가 낮으나 추정된 모형이 만족할 만한 수준이었다.

추정된 지위지수 모형에 채택된 개별 인자의 독립적 기여도를 분석하기 위하여 표준편회귀계수를 계산한 결과는 Fig. 2와 같다.

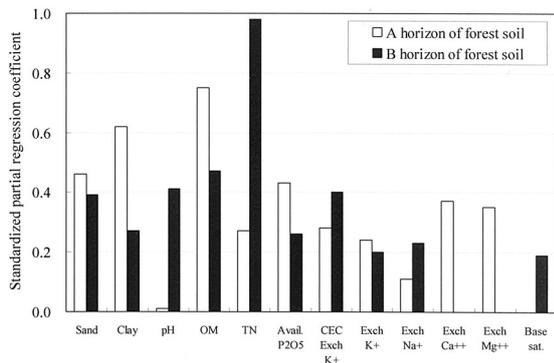


Fig. 2. Standardized partial regression coefficient (*P.densiflorastand*).

Figure 2에서 소나무 임분의 지위지수에 영향을 미치는 토양의 개별 물리화학적 성질의 독립적 기여도를 편회귀계수에 의하여 분석한 결과, 토양 A층에서는 유기물, 점토함량, 모래함량, 유효인산, 치환성 칼슘이 주된 영향 인자였으며(유의수준 1%), B층에서는 전질소, 유기물, 토양산도, 양이온 치환용량, 모래함량이 주된 영향인자(유의수준 1%)로 나타나 소나무의 지위지수에 그 기여도가 여타 인자에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 후자의 경우는 소나무 임목생장이 토양의 물리화학적 성질 중에서 유기물, 양이온 치환용량, 표토의 액상, 염기포화도가 높을수록 양호함을 보인 Kim *et al.*(1988)의 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 소나무 임분의 토양 A, B층에서 공통적으로 높게 기여하는 인자는 유기물과 모래였으며, 치환성 칼륨 및 치환성 나트륨은 공통적으로 기여도가 낮았다. 임지 생산능력의 판단기준이 되는 지위지수는 우리나라 주요 수종별 성립지를 대상으로 임지환경인자에 의해 이미 작성되어 활용되고 있다. 그러나 조림 예정지 및 수종 갱신지 등의 미립목지에 대한 특정 수종의 지위 추정 은 임목지에서의 지위지수에 의한 지위추정과는 지위추정방법이 같지 않다. 미립목지에서 지위추정이 가능한 방법은 토양의 이화학적 성질 이외에 임지환경인자에 의한 방법이 주로 사용

되고 있는데, 최근 Shin *et al.*(2007)은 수치산림입지도로부터 획득한 국소지형, 토양배수, 사면형태, 토양형, A층 토성, A층 토양건밀도, A층 토양습도 즉, 7개의 입지환경인자에 의하여 중부지방 소나무의 지위 추정식을 도출한 결과 식에 대한 설명력이 35%였다고 보고한 바 있다. 그러나 토양의 이화학적 성질에 의하여 미립목지에서의 중부지방 소나무의 지위 추정에 관한 연구는 드물다. 따라서 본 연구에서는 미립목지에서의 중부지방 소나무의 지위지수를 추정하기 위하여, 토양의 A층과 B층의 이화학적 성질에 의하여 지위를 각각 추정한 결과 94% 이상의 설명력을 나타내었다. 또한 추정된 모형의 적합도 또한 높게 나타나 미립목지에서의 소나무림 조성에 기초자료로서 나아가 토양의 이화학적 속성을 가진 수치주제도의 작성 및 지위추정 등에 그 활용도가 높을 것으로 판단된다. 본 연구결과로부터 우리나라 중부지방 소나무림의 지위에 주된 영향을 미치는 토양의 이화학적 인자는 토양 A층에서 유기물, 점토함량, 유효인산 및 치환성칼슘 등이었으며, 토양 B층에서 전질소, 유기물, 토양산도(pH), 치환성양이온 및 모래함량으로 나타나 향후 미래 과제에서 이러한 토양성질에 대한 고찰이 필요하며, 기후대별 혹은 모암별 입지환경인자와 연계한 지위추정 등 더욱 다양한 연구가 필요할 것으로 사료되는 바이다.

결론

본 연구의 목적은 이미 조성된 소나무 임분의 층위별 토양의 물리화학적 성질을 기준으로 수종 갱신지 혹은 신규 조림 예정지 등의 미립목지에서 소나무 임분의 적지를 사전에 선정하고, 해당 수종에 대한 임지생산력을 추정하고자 하였다. 이를 위해 이미 조성된 소나무 임분에서 우세목의 수고생장과 그 산림토양의 물리화학적 성질 사이의 상호관계를 조사하고, 이들 토양특성과 관련하여 수종갱신지, 조림예정지 혹은 미립목지의 소나무 지위지수를 토양 층위별로 추정하였다. 토양 A층의 소나무임분 지위지수 추정식은 $S.I. = 14.07953 + 0.65342 O.M. - 0.02537 Avail. P_2O_5 - 2.80197 Exch.K^+ + 1.00567 Exch.Mg^{++} - 0.60274 Exch.Ca^{++} - 0.09360 Clay - 0.13822 C.E.C. - 0.02409 Sand - 5.23586 T.N. - 1.86989 Exch.Na^+$ ($R^2=0.9851$)으로 유도되었으며, 토양 B층의 추정식은 $S.I. = 3.25650 + 27.18532 T.N. + 0.01603 Base Sat. - 2.85151 Exch.K^+ + 2.78540 Exch.Na^+ - 0.51468 O.M. - 0.01889 Sand + 1.10189 pH - 0.18739 C.E.C. + 0.02128 Avail. P_2O_5 + 0.03342 Clay$ ($R^2=0.9803$)로 유도되었다. 각 층위별 소나무 지위추정에 있어서 A층의 이화학적 성질에 의한 지위 추정모형이 B층의

추정모형에 비하여 그 적합도가 미세한 차이로 높게 나타났다. 향후 미래 연구과제로서 수종갱신예정지 혹은 미립목지에서의 소나무 임분에 주된 영향을 미치는 토양의 주요인자에 대한 보다 세밀한 접근이 필요할 것으로 판단된다. 특히 한정된 임지에서 산지자원가치 및 그 이용효율성을 증대시키기 위해서 토양, 기상, 생태 종의 주요 영향인자에 의한 광역의 소나무 장령 임분의 생리, 생육적인 반응 및 그 영향을 연계하여 분석함으로써 미립목지에서의 성공적인 조림을 유도하기 위한 다양한 연구가 필요하다.

인 용 문 헌

- Alban, D. H. 1974. Red pine site index in Minnesota as related to soil and foliar nutrients. *Forest Science* 20(3):261-269.
- Chung, I. K. 1981. Analysis on the relation between the morphological physical and chemical properties of forest soils and the growth of the *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. and *Larix leptolepis* Gord. by quantification. *Journal of Korean Forest Society* 53:1-26.
- Chung, Y. G. 1980. Effects of soil properties and environmental factors on the growth of *Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc. *Journal of the Institute of Agricultural Resources Utilization, Gyeongsang National University* 14:1-29.
- Corona, P., R. Scotti, and N. Tarchiani. 1998. Relationship between environmental factors and site index in Douglas-fir plantations in central Italy. *Forest Ecology and Management* 110:195-207.
- Fontes L., M. Tome, F. Thompson, A. Yeomans, J. S. Luis, and P. Savill. 2003. Modelling the Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) site index from site factors in Portugal. *Forestry* 76(5):491-507.
- Graney, D. H. and E. R. Ferguson. 1971. Site quality relationships for short leaf pine in the Boston Mountain of Arkansas. *Forest Science* 17(1):16-22.
- Hansen, R. S. and M. V. Bilan. 1989. Height growth of loblolly and slash pine plantations in the northern post-oak belt of Texas. *Southern Journal of Applied Forestry* 13(1):5-8.
- 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 Forest Service Research Paper PNW 243. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Portland, Oregon.
- Hotta M. 1990. *Forestry technical handbook*. Forestry Science and Technology Institute, p. 445-474. Tokyo, Japan.
- Johnson, J. E., C. L. Haag, J. G., Bockheim, and G. G. Erdmann. 1987. Soil-site relationships and soil characteristics associated with even-age red maple (*Acer rubrum*) stands in Wisconsin and Michigan. *Forest Ecology and Management* 21:75-89.
- Kim T. H. et al. 1988. Studies on the classification of forest soil. The Research Reports of the Forestry Research Institute 37, Korea Forestry Research Institute, Seoul, Korea.
- Klock, G. O., R. G. Cline, and D. N. Swanston. 1984. *Forest handbook* (2nd ed.). p. 83-96. A Wiley-Interscience Publication, New York, USA.
- Korea Forest Research Institute. 1992. *Elementary Statistics for forest research*. The Research Report 70, Korea Forestry Research Institute, Seoul, Korea.
- Korea Forest Research Institute. 2002. *Standard forestry tentative execution outline*, 696pp. Korea Forestry Research Institute, Seoul, Korea.
- Lee, D. S., and Y. G. Chung. 1986. Estimation of productivity for *Quercus variabilis* stand by forest environmental factors. *Journal of Korean Forest Society* 75:1-18.
- Ma, S. K. 1974. On the height growth of several species growing in the Middle Korea. *Journal of Korean Forest Society* 21:39-45.
- Mitsuda, Y., S. Ito, and S. Sakamoto. 2007. Predicting the site index of sugi plantations from GIS-derived environmental factors in Miyazaki Prefecture. *J. For. Res.* 12:177-186.
- Son, Y. M., J. S. Hong, and Y. G. Chung. 1990. Multivariate analysis between physico-chemical properties of soil and growth of *Pinus thunbergii* stands. *Journal of the Institute of Agricultural Resources Utilization, Gyeongsang National University* 24:95-106.
- Shin, M. Y., H. K. Won, S. W. Lee., and Y. Y. Lee. 2007. Site index equations and estimation of productive areas for major pine species by climatic zones using environmental factors. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 9(3):179-187.
- Verhoevena, J. T. A., W. Koerselmanb, and A. F. M. Meulemanb. 1996. Nitrogen- or phosphorus-limited growth in herbaceous, wet vegetation: relations with atmospheric inputs and management regimes. *Trends in Ecology & Evolution* 11(12):494-497.