

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 落葉松의 生長 相關分析*1

鄭 印 九*2

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*1

In Koo Chung

1. Aiming at supply of basic informations on tree species siting and forest fertilization by understanding of soil properties that are demanded by each tree species through studies of forest soil's morphological, physical and chemical properties in relation to tree growth in our country, the necessary data have been collected in the last 10 years, are quantified according to quantification theory and are analyzed in accordance with multi-variate analysis.
2. Test species, Japanese larch (*Larix leptolepis* Gord) and the Korean white pine, (*pinus koraiensis* S et Z.) are plantable in extensive areas from mid to north in the temperate forest zone and are the two most recommended reforestation tree species in Korea. However, their respective site demands are little known and they have been in confusion or considered demanding the same site during reforestation.
When the Korean white pine is planted in larch sites, it has shown relatively good growth, but, when Japanese larch is planted in Korean white pine site it can be hardly said that the Japanese Larch growth is good. To understand on such a difference soil factors have been studied so as to see how the soil's morphological, physical and chemical factors affect tree growth helped with the electronic computer.
3. All the stands examined are man-made mature forests. From 294 Japanese larch plots and 259 Korean white pine plots dominant trees are cut as samples and through stem analysis site index is determined. For each site index soil profiles are made in the related forest-land for analysis. Soil samples are taken from each profile horizon and forest-land productivity classification tables are worked out through physical and chemical analyses of the soil samples for each tree species for the study of relationships between physical, chemical and the combined physical/chemical properties of soil and tree growth.
4. In the study of relationships between physical properties of soil and tree growth it is found out that Japanese larch growth is influenced by the following factors in the decreasing order of weight deposit form, soil depth, soil moisture, altitude, relief, soil type, depth of A-horizon, soil consistency, content of organic matter, soil texture, bed rock, gravel content, aspect and slope. For the Korean white pine the influencing factors' order is soil type, soil consistency, bed rock, aspect, depth of A-horizon, soil moisture, altitude, relief, deposit form, soil depth, soil texture, gravel content and slope.
5. In the study of relationships between chemical properties of soil and tree growth it is found out that Japanese larch growth is influenced by the following factors in the order of base saturation, organic

*1. Received for publication on July 20, 1981.

*2. 山林資源調查研究所 Forest Resources Survey & Research Center

- matter, CaO, C/N ratio, effective P_2O_5 , PH, exchangeable K_2O , T-N, MgO, CEC, Total Base and Na. For the Korean white pine the influencing factors' order is effective P_2O_5 , Total Base, T-N, Na, C/N ratio, PH, CaO, base saturation, organic matter, exchangeable K_2O , CEC and MgO.
6. In the study of relationships between the combined physical and chemical properties of soil and tree growth it is found out that Japanese larch growth is influenced by the following factors in the order of soil depth, deposit form, soil moisture, PH, relief, soil type altitude, T-N, soil consistency, effective P_2O_5 , soil texture, depth of A-horizon, Total Base, exchangeable K_2O and base saturation. For the Korean white pine the influencing factors' order is soil type, soil consistency, aspect, effective P_2O_5 , depth of A-horizon, exchangeable K_2O , soil moisture, Total Base, altitude, soil depth, base saturation, relief, T-N, C/N ratio and deposit form.
7. In the multiple correlation of forest soil's physical properties larch's correlation coefficient for Japanese Larch is 0.9272 and for Korean white pine, 0.8996. With chemical properties larch has 0.7474 and Korean white pine has 0.7365.
- So, the soil's physical properties are found out more closely related with tree growth than chemical properties. However, this seems due to inadequate expression of soil's chemical factors and it is proved that the chemical properties are not less important than the physical properties.
- In the multiple correlation of the combined physical and chemical properties consisting of important morphological and physical factors as well as chemical factors of forest soils larch's multiple correlation coefficient is found out to be 0.9434 and for Korean white pine it is 0.9103 leading to the highest correlation.
8. As shown in the partial correlation coefficients Japanese larch needs deeper soil depth than Korean white pine and in the deposit form of colluvial and creeping soils are demanded by the larch. Moderately moist to not moist should be soil moisture and PH should be from 5.5 to 6.1 for the larch. Demands of T-N, soil texture and soil nutrients are higher for the larch than the Korean white pine. Thus, soil depth, deposit form, relief, soil moisture, PH, N, altitude and soil texture are good indicators for species sitings with larch and the Korean white pine while soil type and soil consistency are indicative only limitedly of species sitings due to their wide variations as plantation environments. For the larch siting soil depth, deposit form, relief, soil moisture, pH, soil type, N and soil texture are indicators of good growth and for the Korean white pine they are soil type, soil consistency, effective P_2O_5 and exchangeable K_2O . In soil nutrients larch has been found out demanding more than the Korean white pine except K_2O , which is demanded more by the Korean white pine than Japanese larch generally.
9. Physical properties of soil has been known as affecting tree growth to the greatest extent so far. However, as a result of this study it is proved through computer analysis that chemical properties of soil are not less important factors for tree growth than chemical properties and site demands for the Japanese larch and the Korean white pine that have been uncertain so far could be clarified.

1. 本研究은 우리나라의 山林土壤의 形態學的 理學的 化學的 性質이 林木生長에 미치는 影響을 調查하여 樹種別로 土壤條件의 要求 傾向을 把握하므로써 適地適樹 및 肥培管理의 基礎資料를 얻고자 10余年間에 걸쳐서 資料를 蒐集하여 數量化方法의 理論을 適用하여 多變量解析으로 分析한 것이다.

2. 供試樹種인 落葉松과 잣나무는 溫帶中部에서 溫帶北部 地方에 이르기까지 造林適地가 廣大하게 分布되고 있고 韓國의 二大 造林樹種으로 되고 있으나 適地特性이 밝혀지고 있지않아 造林時에 適地選定의 混同을 招來하는 경우가 있고 때로는 同一地位級으로 取扱되기도 하였다. 落葉松適地에는 잣나무를 造林하여도 比較的 生長이 良好하나 反面 잣나무 適地에 落葉松을 造林할 境遇는 반드시 좋은 生長은 기대할 수 없다. 이러한 差異에 對하여 土壤形態學的 因子 理化學的 因子가 林木生長에 어떻게 影響하는 것인가를 Computer를 利用하여 追跡하여 보았다.

3. 調査된 林分은 人工造林地의 成林地로서 落葉松 294Plot 잣나무259Plot에서 優勢木의 標準木을 伐採하여 樹幹析解에 依하여 地位指數를 決定하고 동시에 當該林地에서 土壤斷面調査를 實施하고 層位別로 土壤試料를 採取하여 土壤의 理化學的 性質을 分析하여 樹種別로 林地生産力 區分表를 만들어 土壤의 物理性 化學性 및 理化性과 林木生長 關係를 究明하였다.

4. 土壤의 物理的 要因과 林木生長 關係의 順位는 落葉松에서는 堆積樣式 土深 土壤水分, 標高, 地形, 土壤型, A層의 두께, 堅密度, 有機物含量, 土性, 基岩, 石礫含量, 方位, 傾斜等으로 나타나고 잣나무는 土壤型, 堅密度, 基岩, 方位, A層의 두께, 土壤水分, 標高地形, 堆積樣式, 土深, 土, 石礫含量, 傾斜等의 順이었다.

5. 土壤의 化學的 要因과 林木生長關係의 順位는 落葉松에서는 塩基飽和度, 土壤有機物, 石灰 C/N率 有機磷酸, PH 置換性加里, 全窒素, 苦土, 陽ion 置換能力, 塩基總量, 나토륨 等으로 나타났고 잣나무는 有效磷酸, 塩基總量, 全窒素 나토륨, C/N率, PH石灰, 塩基飽和度, 土壤有機物, 置換性加里, 陽ion, 置換能力, 苦土 等의 順이었다.

6. 土壤의 理化性과 林木生長 關係順位는 落葉松에서는 土深, 堆積樣式, 土壤水分, PH, 地形, 土壤型, 標高, 全窒素, 堅密度, 有效磷酸, 土性 A層의 두께, 塩基總量, 置換性加里, 塩基飽和度, 等으로 나타났고 잣나무는 土壤型, 土壤堅密度, 方位, 有效磷酸, A層의 두께, 置換性加里, 土壤水分, 塩基總量, 標高, 土深, 塩基飽和度, 地形, 全窒素, C/N率, 堆積樣式, 等의 順이었다.

7. 山林土壤의 物理的 性質과의 重相關關係에서는 落葉松 0.9272, 잣나무 0.8996이며 土壤의 化學的 性質은 落葉松 0.7474, 잣나무 0.7365이었다. 以上과 같이 土壤의 物理的 性質과 林木生長關係는 土壤의 化學的 性質보다는 相關성이 높은 것으로 나타났으나 土壤의 化學的 諸因子에 對한 表示方法이 未洽한 것이라고 思料되며 土壤의 化學的 性質이 物理的 性質 못지않게 重要한 것이라는 것을 立証하기에 이르렀다. 山林土壤의 形態學的 및 物理的 重要因子와 土壤 化學的 重要因子를 拔萃한 山林土壤의 理化學的 性質과 林木生長과의 重相關關係는 落葉松 0.9434이고 잣나무 0.9103으로서 가장 높은 相關性을 나타냈다.

8. 偏相關係數에서 나타난 것과 같이 落葉松은 잣나무보다 土深이 깊어야 하며 堆積樣式에 있어서도 崩積土, 甬行土이어야하며 土壤乾湿度에서도 適潤地 乃至 濕潤地를 要求하고 있으며 PH. 5.5~6.1을 要求하며 全窒素(T-N), 土性 및 土壤養料도 落葉松이 잣나무보다 훨씬 많은 土壤條件을 要求하고 있다. 即, 土深 堆積樣式, 地形의 起伏, 土壤乾湿度, PH, N, 標高, 土深等이 落葉松과 잣나무 適地 區分의 有効한 指標가 되며 土壤型, 土壤堅密度는 植栽環境의 變異幅이 넓으므로 指標性은 있으나 낮다고 할수 있다. 適地判別은 落葉松은 土深, 堆積樣式, 地形, 土壤水分, PH, 土壤型, N, 土性等이 生長을 圖謀하는 指標因子인데 反하여 잣나무는 土壤型 土壤堅密度 有效磷酸 置換性加里 等이 生長을 圖謀하는 有効한 要因이었다. 土壤養料에 對하여서도 一般의으로 잣나무보다 落葉松이 要求度가 크게 나타나고 있으나 K₂O에 對하여서만 잣나무가 落葉松 보다 많이 要求하고 있다.

9. 只今까지 林木生長에 크게 影響을 미치는 것은 山林土壤의 物理的 性質이라는 一般概念이었으나 本研究結果 土壤의 化學的 性質도 매우 重要한 林木生長要因이 된다는 것을 Computer를 利用 追跡하여 立証하였으며 아울러 從來 落葉松과 잣나무 適地 區分이 不分明하던 것을 明瞭하게 適地 特性을 究明하였다.

緒 論

우리나라의 森林土壤의 形態學的 理化學的 諸性質을 調査 把握하여 主要造林樹種의 生長에 關與하는 諸要因을 Computer를 利用하여 追跡하므로써 未立木地나 幼令林地에 對한 將來의 林木成長을 豫測할 수 있는 方法을 講究하는 同時에 어떠한 土壤因子가 어느만큼 林木生長에 參與하게 되는 것인가를 樹種別로 糾明하므로써 科學的인 適地適樹選定 및 土壤管理技術의 基礎資料를 얻고자 本研究을 遂行하였다.

또한 本研究의 核心은 現在까지 土壤의 物理性이

林木成長에 重要한 要因이라는 從來의 學說에 對하여 土壤의 化學的 性質이 林木成長에 미치는 影響이 큰 것이라고 確信하여 研究의 方向을 設定한 것이다.

研究資料는 우리나라 林地에서 生長하고 있는 落葉松 잣나무 各各 294, 259 計553Plot의 成林地 林分에서 調査된 것이며 地上部는 樹幹析解에 依한 것이고 當該 土壤因子를 山林土壤斷面調査에서 얻는 資料이며 土壤分析은 土深20cm 되는 곳에서 採取된 試料의 理化學的 成分 分析值를 數量化 하므로써 樹種別로 林木生長에 미치는 土壤特性에 따른 要因을 究

明하여 發表하는 바이다.

本 研究을 指導하고 協助하여준 東京大學의 眞下 育久 博士와 日本林業試驗 土壤調查部 塘隆男 博士와 久保 川端 有光 博士의 勞苦가 컸음을 添記하는 바이다. 또한 本 研究에 助言해 주신 權寧大學長님과 金 昌浩 博士님 그리고 論文係整備에 수고하여 주신 서울大學校 任慶彬 博士님께 깊은 謝意를 表하는 바이다.

研究 史

山林土壤과 林木成長關係를 研究한 것은 紀元前부터 始作되었으며 原始的인 一 土壤分類의 基礎가 되어 오다가 純正土壤學과 應用土壤學으로 区分 發達되고 應用土壤學은 森林土壤學, 農林土壤學, 農業土壤學으로 發達細分되었다.¹

山林土壤學中에서도 適地適樹를 重要視하여 地力을 評價한 生産力区分 地位指數의 区分, 土壤의 潛在生産能力 区分 등이 있으나 이들의 査定基準은 外觀上으로 判別区分이 可能한 材積生長量 樹高生長量 優勢木樹高 地被植生 地標植物 등의 外的 分類基準을 利用하여 区分하여왔다. 13, 1, 8, 9, 12, 16, 20, 21, 22, 29, 33, 60

이러한 外的 基準은 當該土壤의 特性을 研究하여 많은 學者들이 發表한 것은 1, 2, 5, 7, 9, 13, 17, 18, 23, 26, 27, 29, 30, 33, 35, 43, 44 土壤의 形態學的 物理學的 性質에 뚜렷한 特徵이 나타나는 것이므로 土壤의 物理的 性質로서 外的 基準은 推定하게 되었다. 45, 46, 79, 80, 83, 86

그러나 土壤性狀에 따른 林木生長關係는 매우 複雜多岐하여 土壤以外에도 氣候 地形 母材 植生 時間等에 따라서 各기 다른 것이므로 이들 總體的인 因子를 包含하여 立地 또는 土壤立地라는 用語를 使用하기로 하며 立地의 地力을 나타내는 것으로서 最近에는 土壤地位라는 말을 많이 使用하기에 이르렀다. 3, 5, 7, 9, 13, 17, 17, 29, 92, 93, 94, 7

이러한 뜻으로 英語에서는 Soil Site, Soil Site index, Site Quality, Capacity Productivity, Soil Classsing 등으로 表現하기도 한다.

土壤條件과 林木生長關係를 研究한 것은 年度別로 略述하여 보면 다음과 같다.

1920年 Ilvessalo는 指標植物에 依한 土壤分類를,

1933年 Gaisberg and Schmid,는 가문비나무의 地位区分을 査定하였으며 지금에도 林地의 地力区分 方法으로 높이 評價되고 있다.²⁰

1934年 Westveld R. H는 潤葉樹林地에 있어서 土壤性質과 養料性분이 林木生長에 크게 한다는 사실

을 그리고 1935年 Coile, T. S는 土壤의 物理性과 에 키나타소나무의 地位指數와의 正의 相關을 糾明하였고¹⁴ 1937年 Coil, T. S는 林木의 落葉에 由來하는 土壤有機物로서 地位를 높일수 있다는 사실을²¹ 또한 同氏는 1938年에 地被植生으로서 林地의 地力을 分類한바 있고¹⁶ 1953年에는 美國 Gergia州의 Golorinas地域의 山麓에 植栽된 Lablolly Pind과 Shortleaf Pine林地에서 土壤性質에 따른 土壤地位를 決定한바 있고¹⁷ 1960年에 土壤의 地位査定方法 要領을 發表한바 있다.¹⁸

1940年 Harper, H. J는 林木生長과 林分形成發達은 土壤性質과 氣候狀態와도 크게 關係하는 것이라고 強調한바 있다.³⁴

1940年 Wilde, S. A는 適地適樹造林과 合理的인 山林經營을 爲하여 地下水 土壤을 調査分類하여 林利를 增進시킨바 있다.⁶⁷ 또한 同氏는 1955年 地被植生の 被覆組成과 灰白色土壤發達程度와의 關係를 生態學的으로 研究糾明한바 있다.⁶⁸

1941年 Auten, J. T는 老令林分의 土壤断面에서 層別로 塩基置換性和 林木成長과의 關係를 研究하여 成熟林分 일수록 即 林分이 極盛相을 이룩할수록 土壤의 塩基置換성이 큰 것이라고 하였다.⁴ 또한 同氏는 1945年 白合나무 林地에 對한 生産力은 土壤과 地形에 依한 것이 가장 큰 影響을 미치는 要因이라고 發表하였다.⁵

1942年 宮崎는 森林植物의 生態學的인 見地에서 植生과 土壤과의 關係를 研究하여 生産力을 区分한바 있다.⁹⁴

1948年 Hill, W. W Arnst, A and Bond, R. H는 美松林地에서의 地位指數区分을 山林土壤과의 相關係로서 規定짓는 方法을 提示한바 있다.⁴⁵

1948年 Arend J. L and Collins, R. F는 Ozarks 地方의 Red Ceder林地에 土壤을 調査하여 土壤과 林木生長關係로서 地位分類를 한바 있다.

1948年 Storie, R. E and Wielander, A. F는 材積生産量으로서 土壤의 生産力等級을 規定짓고 等級에 따른 土壤의 特徵을 論한바 있다.⁵⁴

1950年 Tamm, O는 Sweden林地의 地位分類 基準原則을 山林土壤의 診斷에 依하여 定한바 있다.⁵⁷

1950年 Gessel, S. P. and J. L. William은 美松林地의 地位指數 区分에 있어서 土壤의 物理的 性質이 크게 影響을 주는 것이라고하며 土壤의 物理性이 林木生長에 크게 關與한다고 하였다.³²

同年에 Gessel, S. P는 Washington 美松林地에 對한 土壤研究로서 土壤의 性狀과 地位와의 相關關係

를 糾명한 바 있다.³¹

또한 同年 Storie, R. E는 山林地 農耕地 牧草地의 土壤을 比較 研究하여 土壤性狀에 따라 各已 等級을 調査한 바 있다.³⁵

1951年 大政正隆은 너도밤나무林地의 土壤을 調査 研究하여 土壤腐植形態, 水分狀態를 中心으로 山林 土壤生成論的 土壤形態學的인 考證等으로 土壤型을 査定判定하고 土壤型에 따른 林地生産力을 区分하여 日本森林土壤分類의 基礎를 確立하였다.³⁹

1954年 Wilde, S. A Voigt, G. K and Plerce, R. S는 Canada의 Ontario地方의 森林土壤을 研究하여 林木 生長과 土壤과의 關係를 糾명한바 있다.⁵⁹

同年 Hill, G. A는 林木生長에 따른 地位査定 方法으로는 單位面積당 材積量으로 定하는것이 좋으나 複雜하므로 優勢木樹高로서 地位를 査定하는것이 合理的인 方法이라고 한바 있다.³⁶

1955年 Wilde, S. A는 地被植生の 組成과 로도출土壤化 程度와의 關係를 森林生態學的으로 立証糾명한 바 있다.⁶⁸

1955年 Aird, P. L and Stone, E. C는 Newyork 에 植栽된 日本일갈나무와 欧州일갈나무 林地의 土壤性 狀을 比較研究한 結果 土壤水分에 對한 要求 程度가 큰것은 같으나 土壤物理性이 良好한 林地에서 生育이 良好하고 같은 條件下에서는 欧州일갈나무가 日本일갈나무 보다 多少 生長이 좋았다고 한다.¹

同年 Forristal, F. F and Gessel S. P는 防風林에 있어서 土壤性狀에 따른 林地의 生産力과 防風效果를 爲한 樹冠被覆型과의 關係를 發表한바 있다.²⁷

1959年 Trimale, G. R and Weilgmann은 잣나무林地 土壤의 特性別로 地位指數를 定하여 生長量과 地位와의 關係를 밝힌바 있다.⁶⁰

1957年 Doolittle, W. T는 Scorlet와 blak oak의 地位指數와 當該 土壤과의 關係를 糾明 生長量을 推定한바 있다.²⁹

同年 Stone, R. E and Lemmon, P. E는 山林土壤과 林木生長關係를 研究한 結果 土壤의 物理的 性質이 林木生長에 매우 重要한 것이라고 論한바 있다.⁵³

1956年 Lag, J는 天然林地의 地力區分을 上深 傾斜 腐植量을 基本으로하여 分類基準으로 삼았으며 同年 Carmean, W. H는 Washington地方 美松林地의 土壤을 調査하여 土壤의 物理的 因子로서 地位區分을 하는 方案을 提示하고 地位曲線을 製作한바 있다.¹²

1957年 竹原 久保 細川는 Podzolic Soil을 調査研究하여 土壤特性和 植生과의 關係를 糾명한바 있고 1958年에 Hansen, N. J and Meccoms A. L는 Iowa州 南

部地方의 土壤을 調査研究하여 혹호도나무 및 其他 樹種들의 林木生長에 따른 地位分類를 한바 있다.³³

또한 Doolittle, W. T는 數種의 林分에 對하여 地位指數를 比較研究한 結果 上深과 土壤構造等이 地位査定에 重要因子라고 한바 있다.³⁸

同年 Copeland, O. L는 北部 Rocky山의 林地에서 자라고 있는 스트로부잣나무林의 地位指數에 對하여 土壤生成發達과의 關係를 糾명한바 있다.

Zahner, R은 Arkansas南部 및 Louisiana 北部地方 소나무林의 生長量에 따라 土壤水分 傾斜 地形 腐植 窒素 塩基量等에 의하여 地位指數를 区分確定한바 있으나 土壤의 化學的 性質에 對하여는 影響이 적지나 타당하다고 하였다.⁷⁴

1959年 Jegel, R은 林地에 있어서 地力評價의 類型別 区分要因으로서 外的要因을 分類基準으로 삼았다.⁶³

또한 Whitside, E. P 土壤層位에 따른 土壤의 性質을 밝히고 植生生育과 土壤肥沃度 關係를 論한바 있다.⁶⁵

1960年 Hodgkins, E. J는 Longleaf Pine林地에서 林木生長과 土壤을 研究하여 地位指數를 數量한 바 있다.³⁸ Yoshihisa, Mashimo는 杉나무 偏柏林地에 土壤을 研究하여 土壤의 物理的 組成 및 水分으로서 地位指數를 數量한바 있다.⁷¹

1962年 Hehh, E. A는 美國東南部の 土壤調査를 實施하여 土壤의 物理的 性質과 土壤立地要因을 爲主로하여 地位分類를 한바 있다.³⁵

Jackson, D. S는 Slash Pine林分の 生長에 因謀하는 地位決定의 媒介變數에 對하여 土壤學的으로 研究한바 있다.³⁹

1963年 Mclurhin, D. C는 North Mississippi 地方과 West Tennessee地方의 White Ock林地의 生産力을 土壤地位指數로서 決定한바 있으나 土壤의 地位指數의 決定은 主로 土壤物理的 性質과 土壤形態學的인 因子로서 地位의 生産力을 推定한바 있다.⁴⁵

1965年 Moshimo and Nishigawa는 三群法에 依하여 落葉松의 地位分類를 하고 土壤型, A層上深, 有效土深, 腐植含量 土性, 石礫含量, 土壤構造, 標高, 方位, 傾斜, 母材等으로서 主로 土壤의 物理的 性質과 立地의 因子로서 地位指數를 推定한바 있다.⁷²

1967年 Swalley, G. W는 North Alohoma 地方의 참나무林地에서 土壤의 物理性으로서 地位를 推定하였으며 物理的 性質이 참나무林의 生育을 크게 關與하였으나 참나무林이 極盛相을 이루게 됨에 따라 土壤도 改良되며가고 있다고 하여 土壤의 化學的 性質도

좋아지고 있음을 暗示한바 있다.⁸⁶

1966年 鄭印九는 氣候帶와 土壤에 따른 適地適樹栽培를 論한바 있고 1967年度에는 아까시나무와오리나무에 對한 適地特性을 調査研究하여 發表한바있으며 1968年度에는 山林土壤調査方法을 論하였고 1970年度에는 適地適樹造林을 爲한 山林土壤調査를 實施한바 있으며 1975年度에는 우리나라에 있어서 地質別로 重要造林樹種을 對象으로 地位指數를 製作하여 基岩에 따른 林木生長을 比較研究한바 있다.

1974年 馬相奎는 잣나무林地的 土壤에서 堆積樣式土壤型 A₀層의 두께 有效土深 土壤構造 堅密度 腐植含量 土性등의 因子로서 잣나무의 收穫量을 推定한바 있으며 또한 나소우 및 落葉松林地에서 標高方位 傾斜 土壤型 有效土深 腐植含量 堅密度 土性を 利用하여 地位指數를 推定한바 있다.^{93,94}

1975年 鄭, 金은 落葉松林分에서 土壤의 物理的 要因으로서 落葉松生長을 推定한바 있다.⁹⁷

1978年 鄭, 金은 重要造林樹種의 施肥效果 分析을 韓國의 代表의인 山林土壤에 對하여 實施한 바 있다. 또한 鄭은 韓國 全林地의 土壤을 對象으로 地位級을 數量化에 依하여 五等級으로 調査分類한바 있다.^{85, 86}

1978年에 鄭은 밤나무는 石灰岩地帶에서 生育이 不良한것은 CaO의 過多로 因하여 生殖生長에 必要한 養料의 均衡이 破壞되어 結實이 매우 不良한 것이라고 하였다. 또한 밤나무는 好酸性樹種이므로 土壤中の CaO NaO의 含量이 많으면 營養生長에는 支障이 없으나 結實을 爲한 生殖生長에는 支障이 큰 것이라

고 하였다.⁸⁴

1979年 鄭은 偏柏나무의 生長에 關與하는 土壤의 理化學的 性質은 相関性은 낮은 것으로 分析되었으 며⁸⁸

1979年 鄭, 金, 姜은 土壤의 物理的 性質과 化學的 性質因子로서 이태리 포푸라生長에 關與하는 程度를 多變量解析으로 糾明하여 林木生長에 있어서 物理的 性質도 重要하지만 化學的 性質도 物理的 性質 못지않게 重要한 것이라는 것을 立証하였다.^{96,97}

以上과 같이 土壤과 林木生長關係를 研究한 것은 주로 19世紀부터이며 現在까지도 土壤의 物理的 性質이 林木生長에 重要한 것이라고만 發表되어오다가 19世紀中葉 以後부터 電子計算機의 發達로 因하여 土壤形態學的인 因子를 物理的 性質에 加味하여 왔으나 化學的 性質을 表示하여 數量化하기가 매우 어려운 것이므로 大多數의 論文은 土壤形態學的 物理的 性質만을 取扱하여 왔으나 筆者는 分明히 肥料分等 化學的 性質이 매우 重要한 것이라는 것을 感感하여 오다가 日本의 塘博士 眞下博士와 川端博士의 힘입어 化學的 性質이 林木生長에 있어서 物理的 性質 못지않게 重要하다는 것을 電子計算機에 依하여 各 重要 因子別로 解析 立証하게 되었다.^{79, 80, 81, 83, 86, 97}

研究 方法

1. 供試樹種 및 Plot數

本 研究에 供試된 樹種別의 Plot數는 다음表와 같 으며 거의 모두 溫帶中部地方에서 抽出된 것이다.

Table 1. Number of plot by species

樹 種 Specise	学 名 Scientific name	Plot 數 Nameber of plat	備 考 Remark
잣 나무 Korean white pine	<i>Pinus koraiensis</i> Setz	259	○樹幹析解에 쓰여진 供試 本數 553本
落 葉 松 Iapanese Larch	<i>Larix leptolepis</i> Gord	294	○土壤試料分析點數
計		553	1,659點

2. 供試土壤의 理化學的 分析 項目

對象林分에서 Point Sampling方法에 依據 林分調 査를 行하고 標準木을 伐採하여 地位指數曲線을 製

作하기 爲한 樹幹析解를 하였다. 또한 當該Plot에서 土壤斷面調査와 環境調査를 實施하고 土壤의 各層位 別로 採取된 土壤試料에 對하여서는 理化學的 性質

即 Soil texture, Clay, Silt, Sand, Soil Moisture, N P₂O₅, K₂O, MgO, CaO, Na, OM, CEC, total base, Base saturation, C/N率 등을 分析하여 其 數值를 數量化에 利用하였다.

土壤分析方法은

PH : Electric glass method

Soil texture : Hydromether method(U. S. D. A)

T-N : Kjeldahl's method.

Av. P₂O₅ : Lancaster's method

Ex. K₂O : Flame spectrophotometer method.

Ex. NaO : Flame spectrophotometer method.

Ex. CaO : E. D. T. A. method.

Ex. MgO : E. D. T. A. method

O. M : Turin's method

C. F. C : Brown's method.

3. 供試電算機

日本林業試驗場에 備置된 電算機를 使用하였으며, 그 性能은 다음과 같다.

OKITA-4500 Main Memory 28K Word(1K=1024 Wodr, 1 Word=16 Bit) Card Reader/600枚/Min, Line Printer/240 Line/Min, Disk. File 2.5M Byte (1 M=1000K Byte, 1 Byte=8 Bit)

4. 地位指數 曲線의 決定

森林土壤의 生産力을 나타내는 變量(優劣木樹高)을 本 研究에서는 地位指數로서 나타내었다. 地位指數의 基準年令은 落葉松 30年, 잣나무 40年으로 定하고 地位指數 曲線을 決定하였다. 基準年令에 對한 優劣木樹高로서 地位를 分類하였으며 이것은 林地의 環境因子와 山林土壤의 形態學的 및 理化學的 性質을 數量化 하는 外的 基準으로서 利用하였다.

가. 地位指數의 決定方法

地位指數 曲線을 製作하는 目的은 各 樹種別로 林地에서의 樹高成長 過程을 알기 爲한 手段으로서 樹幹析解에 依한 方法을 取하였다.

나. Guide Curve의 適合性

樹高의 生長過程을 알기 爲하여 Guide Curve가 必要하며 適合性이 좋은 Guide Curve의 一種인 Logistic 曲線을 應用하였다. 即 $Y_t = K - ab^t \dots (1)$ (logistic 曲線은 一般의 形式으로 $Y = \frac{K1}{1 + ae^{bt}}$ 로서 表示되며 이 式의 兩邊의 逆數를 取하면 $\frac{1}{Y} = \frac{1}{K1} + \frac{a}{K1} e^{-bt} = K + AB^t$ ($B = e^b$, $K = \frac{1}{K1}$, $A = \frac{a}{K1}$ 라면)(1)式과 같다)

이 式은 修正指數曲線이라고 불리우는 一種의 成長曲線이며 樹高成長에 이 修正指數曲線을 適合시키기 爲해서는 令階t에 對한 樹高를 Y_t라고 하면 t=0, 1, 2, ...로 놓아질 경우 樹高의 推定值가 (1)式에서 t=

0로서 Y_t = 0라는 樹高成長의 初期條件을 滿足시키기 爲하여서는 a=K이어야 하므로 Y_t = K(1-b^t) ... (1)이 이 條件을 滿足시키는 式이된다. 그러나 實際로 t=0라는 것은 0~5年이라는 하나의 區間을 0으로 놓은 것이므로 (1)式에서 t=0일 경우 Y_t = K-a가 되며 이것이 5年間의 樹高成長이라고 生覺하면 (1)式은 何等의 矛盾이없다. 修正指數曲線은 最初에는 急速히 成長하나 極限에 가까울 수록 그 成長速度는 減少되는 現象에 對하여 잘 適合하게 된다.

(1)式에서 a>0 0<b<1에서 t→∞때 Y_t=K이므로 K는 樹高의 極限值로서 Guide Curve가 作成된 處에 最高의 平均 樹高를 나타낸다. t=0 a=K-Y_t이므로 a는 t=0일 때의 樹高에서의 極限值 까지의 距離를 나타내며 또한 B는 單位時間의 增加分의 減少率이다.

이와 같은 生物的인 意味를 가지는 定數 K, a, b가 決定되면 t(令階)에 따라 理論的인 平均樹高(Y_t)가 計算되는 것이다.²²

다. Guide Curve의 計算

(1)式의 定數 K, a, b를 決定하기 爲하여 Y_t를 選定하여 (1)式에 代入한 聯立方程式을 作成하면 이들의 定數의 值를 決定할 수 있다.

即, 系列項數를 3 倍數 N=3n로 整理하고 系列을 3 等分하여 各部分系列의 和를 Σ₁Y, Σ₂Y, Σ₃Y로 하고 다음 各式에 依하여 定數를 決定한다.

$$b^n = \frac{\Sigma_3 Y - \Sigma_2 Y}{\Sigma_2 Y - \Sigma_1 Y} \dots \dots \dots (2)$$

$$a = (\Sigma_1 Y - \Sigma_2 Y) \left\{ \frac{b-1}{(b^n-1)^2} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

$$K = \frac{1}{n} \left\{ \Sigma_1 Y + \left(\frac{b^n-1}{b-1} \right) a \right\} \dots \dots \dots (4)$$

[(2) (3) (4) 式의 証明]

$$Y = K - ab^t \text{ 이므로 } \Sigma_1 Y = \Sigma_{t=1}^{n-1} Y_t = n^k - (a + ab + ab^2 + \dots + ab^{n-1}) = n^k - a(1 + b + b^2 + \dots + b^{n-1})$$

그러나

$$1 + b + b^2 + \dots + b^{n-1} = \frac{(1 + b^2 + \dots + b^{n-1} \cdot b^{-1})}{(b-1)} = \frac{b^{n-1}}{b-1}$$

$$\text{故로 } \Sigma_1 Y = n^k - a \left(\frac{b^{n-1}}{b-1} \right) \dots \dots \dots (i)$$

$$\Sigma_2 Y = n^k - ab^n \left(\frac{b^{n-1}}{b-1} \right)$$

$$\Sigma_3 Y = n^k - ab^{2n} \left(\frac{b^{n-1}}{b-1} \right)$$

$$\text{여기서 } \Sigma_2 Y - \Sigma_1 Y = -a \left(\frac{b^{n-1}}{b-1} \right)^2 \dots \dots \dots (ii)$$

$$\Sigma_3 Y - \Sigma_2 Y = ab^n \left(\frac{b^{n-1}}{b-1} \right)^2 \dots$$

故로 $b_n = \frac{\sum_3 Y - \sum_2 Y}{\sum_2 Y - \sum_1 Y} \dots\dots\dots (iii)$

(ii)에서 $a = (\sum_1 Y - \sum_2 Y) \frac{b-1}{(b^{n-1})^2} \dots\dots\dots (iv)$

(i)에서 $K = \frac{1}{n} (\sum_1 Y + \frac{b^{n-1}}{b-1} a) \dots\dots\dots (v)$

또한 (iii) (iv)식을 (v)식에 代入하면

$$K = \frac{1}{n} \left\{ \frac{\sum_1 Y + \sum_3 Y - (\sum_2 Y)^2}{\sum_1 Y + \sum_3 Y - 2 \sum_2 Y} \right\}$$

라. 樹高의 標準偏差와 그 修正

地位指數曲線을 製作하는데는 t值에 對한 Yt에서 個個의 Yt觀測值間의 差(變動)가 殘差의 標準偏差이다.

$$\text{殘差의 標準偏差 } \delta_t = \sqrt{\frac{n_t}{t-1} (Y_t - \bar{Y}_t)^2} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 n_t는 t의 觀測值의 數이며 n_t가 적을수록 信賴度가 적다. t를 橫軸 δt를 縱軸으로 한 圖上 Plot

에서 修正하며 δt值를 求하였다.

마. 地位指數曲線의 決定

다음은 t에 對한 \bar{Y}_t 와 δ_t 를 가지고 各地位指數에 對應하는 令階別 樹高를 算出하는 것이다. Guide Curve의 樹高 \bar{Y}_{40} 과 Y의 差는 $(Y - \bar{Y})$ 이며 t에 있어서의 地位指數 Y의 樹高 Y_t와 \bar{Y}_t 의 差 $(Y_t - \bar{Y}_t)$ δ40와 δ_t 에 比例한다고 假定하면,

$$\frac{Y_t - \bar{Y}_t}{\delta_t} = \frac{Y - \bar{Y}_{40}}{\delta_{40}} = R_y \dots\dots\dots (6)$$

$$Y_t = \bar{Y}_t + R_y \delta_t \dots\dots\dots (7)$$

即 地位指數 Y에 對한 各 令階의 樹高가 算出된다.

5. 令階別 各 地位指數에 對한 樹高

가. 잣나무 地位指數表

259Plots에서 얻은 資料를 가지고 分析한 令階別의 各地位指數에 對한 樹高를 主로 提供한다.

Table 2. Site index of Korea white pine composed by the average height of dominant tree.

Age	Yt	t	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
5	0.8931	0.14				2.2	7	0	2	7	0.1126	0.3093	0.5070
10	2.2116	0.62		0.5531	1.4364	2.8995	3.1729	4.5460	4.9196	5.7925	6.6567	7.5390	8.4122
15	4.7345	0.94	0.8962	2.2200	3.5440	4.9678	6.1917 ^c	7.5157	8.8396	10.1636	11.4875	12.8115	14.1354
20	6.7847	1.12	2.2113	3.7887	5.3663	6.6436	8.5210	10.0985	11.6759	13.2534	14.8308	16.4084	17.9853
25	8.4506	1.22	3.4689	5.1871	6.9055	8.9287	10.3419	12.0603	13.7785	15.4969	17.2152	20.9335	20.6518
30	9.8044	1.30	4.4960	6.3269	6.1580	9.0888	11.8197	13.6508	15.4817	17.3128	19.1437	22.9747	22.8057
35	10.9045	1.37	5.3103	4.2398	9.1694	11.0989	13.0284	14.9580	16.8875	18.8172	20.7467	24.6763	24.6058
40	11.7985	1.42	6.0000	8.0000	10.0000	12.7000	14.0000	16.0000	18.0000	20.0000	22.0000	25.0000	26.0000
45	12.5259	1.46	6.5632	8.6194	10.6839	12.3320	14.7883	16.8447	18.9010	20.9574	23.0136	26.0700	27.1263
50	13.1152	1.50	9.901	9.1027	11.2165	13.8280	15.4406	17.5534	19.6660	21.7787	23.8913	26.0041	28.1167
55	13.5949	1.53	7.3473	9.5022	11.6672	13.2120	15.9668	18.1218	20.2767	22.4317	24.5865	27.7415	28.8961
60	13.9847	1.56	6.776	9.8117	12.0090	14.060	16.4031	18.5994	20.7965	22.9947	25.1918	27.3381	29.588

나. 落葉松 地位指數表

294Plots에서 얻은 資料를 가지고 分析한 令階別의 各地位指數에 對한 樹高를 表로 提供한다.

6. 數量化의 方法

調査Plot別 山林土壤断面調査 成績

土壤의 理化學的 分析值와 林木의 樹幹解析 Data에서 作成된 地位指數 曲線을 利用하여 各 調査地點에 對한 地位指數를 利用하여 多變量解析法에 依한 數量化 方法을 應用한 것이다.⁷²

가. 數量化 理論의 基礎

여기에서 利用되는 數量化의 理論은 外的基準으로

서 林木生長量 即 樹高를 地位指數로서 나타내고 以外的基準을 滿足시키는 內的要因 即 林木生長에 關與하는 各種要因을 Item과 Category로서 區分 分類하여 數量化한 것이다. 또한 逆으로 地位指數를 未知의 變量이라고(外的 基準未知)할 境遇 土壤의 理化學的 要因과 土壤形態學的 因子(X_n)의 數量化에 依하여 外的基準(Y)을 推定 豫測할 수 있는것은 그리 어려운 것은 아니다.

$$\text{即 } Y = f(X) \rightarrow \text{또는 } f(X) = Y$$

나. 外的 內的 基準의 數量化

地位指數의 變數 Y(外的基準)를 豫測하기 爲하여

Table 3. Site index of Japanese larch composed by the average height of dominant tree

Ago	Yt	Yt	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
5	0.6889	0.43				0.0534	0.4273	0.5011	1.1750	1.5489	1.9229	2.2967	2.6707
10	5.1348	0.97	1.1708	2.0143	2.8678	3.7012	4.5447	5.3880	5.2314	7.0749	7.9185	8.7619	9.6051
15	8.6554	1.38	3.0159	4.2159	5.4159	6.6158	7.8159	9.0157	10.2156	11.4156	12.6157	13.2156	15.0156
20	11.4433	1.70	4.4943	5.9743	7.4526	8.9302	10.4091	11.8881	13.3653	14.8436	16.3219	17.8001	19.2784
25	13.6511	2.06	5.2339	7.0239	8.8153	10.5065	12.3978	14.1889	15.9801	17.7715	19.5628	21.3540	23.1454
30	15.3994	2.30	6.0000	8.0000	10.0000	12.0000	14.0000	16.0000	18.0000	20.0000	22.0000	24.0000	26.0000
35	16.7838	2.47	6.6876	8.8376	10.9855	13.1332	15.2811	17.4287	195.763	21.7212	23.8722	26.0198	28.1677
40	17.8801	2.56	7.4144	9.6444	11.8705	14.0965	16.3226	18.5485	20.7744	23.0006	25.2267	27.4527	29.6788
45	18.7483	2.64	7.9552	10.2552	12.5509	14.8464	17.1422	19.4376	21.7330	24.0288	26.3245	28.5200	30.9157
50	19.4358	2.68	8.4840	10.8140	13.1445	15.4778	17.8053	20.1355	22.4658	24.7968	27.1268	29.4571	31.7876
55	19.9803	2.72	8.8698	11.2298	13.5951	15.9609	18.3255	20.6904	23.0555	25.4208	27.7861	30.1511	32.5165
60	20.4114	2.76	9.1324	11.5323	13.9323	16.3322	18.7323	21.1320	23.5318	25.9319	28.3320	30.7318	33.1319

M個의 項目(Item)에 對한 測定值를 가지고서 이것에 基準하여 Y值를 豫測하는 것이다.

이를 項目의 豫測結果가 數值로서 表示되며 이들의 項目의 M次元의 變量(內的基準)(X_1, X_2, \dots, X_m)를 가지고 Y值를 豫測하는것이 多變量解析이며 M個의 Category를 分類하여서 얻어지는 것이다.

$$\bar{Y} = X_1 + X_2 + \dots + X_m \dots (P)$$

即 推定 \bar{Y} 로서 實測 Y를 豫測하는 境遇에 될수있는 限 誤差를 적게 하여야 한다. 最少自乘法의 意味로서 生覺하면 좋다. 即 Y에 \bar{Y} 의 差의 平方和로서 다음과 같다.

$$E[(Y - \bar{Y})^2] = \text{Min} \dots (10)$$

위 基準에 依하여 各 Category Cjk에 數量Tjk의 가장 좋은 值 Tjk*를 定하면 (9)에 依하여 \bar{Y} 數值를 求할수 있고 이것에 依하여 Y를 豫測할수 있게 된 것이다. 項目과 Category 및 外的基準의 關係는 明確하게 理解된다. i 라는 外的基準으로서 數量은 Y_i 이며 各 項目에서의 이와같은 反應을 表示하는 要因 Pattern으로서 項目Category로서의 反應을 表現할수 있다. 即 各 Sample i 에 α_i 인 數量이 주어지는 $t_{1i} + t_{2i} + \dots + t_{ni} = \alpha_i, i = 1, 2, \dots, n \dots (11)$ α_i 와 Y_i 의 相關係數 ρ 를 生覺하며는 ρ 는 다음과 같다.

$$\rho = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(\alpha_i - \bar{\alpha}) / \delta Y \delta \alpha \dots (12)$$

$$\text{여기서 } \delta Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}), \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$\delta \alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha}), \bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

여기서 ρ 를 最大限 크도록 tj_k를 만드는것이 바람직하다. 相關係數는 原點取扱을 할수 없으므로 $\bar{\alpha} = 0, \bar{Y} = 0$ 로 하여도 一般性을 잃지 않는다. 따라서 $\rho = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \alpha_i / \delta Y \delta \alpha \dots (13)$

$$\text{여기서 } \delta^2 Y = \sum_{i=1}^n Y_i^2, \delta \alpha^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \text{이다.}$$

그러나 ρ 가 最大가 되도록 ℓ 項目의 M Category에 tim을 주어진다

$$\frac{\delta \rho}{\delta + 1m} = 0 (\ell = 1, 2, \dots, M, m = 1, 2, \dots, \delta M)$$

$\bar{Y} = \bar{\alpha}$ 라고 生覺하면 이것을 計算하기 前에 다음記號를 導入한다. 先 $\delta_i(T.K)$ 을 다음과 같이 定義한다.

$$\delta_i(J, K) = 1 \dots i \text{인 Plot가 } j \text{項目 } K \text{ Category 로서 Check될 때와 } \delta_i(J, K) = 0 \dots \text{가 아닐때} \dots (14)$$

이렇게 하면

$$\sum_{k=1}^M \delta_i(J, K) = 1 (j = 1, 2, \dots, M, i = 1, 2, \dots, n)$$

또한 當然히

$$\delta_i(J, K) \delta_i(J, K') = 0 (K \neq K')$$

$$\delta_i(J, K) \delta_i(J, K') = (K = K') \text{이 成立된다.}$$

即 各 Plot는 各 項目에서 어느것인가 하나의 Category만 Check하여 나타난다.

各 項目 Category마다 Check한 것의 數를 $n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1r1}, n_{21}, n_{22}, \dots, n_{2r2}, n_{3r}, n_{32}, n_{33}, \dots, n_{3r3}, n_{M1}, n_{M2}, \dots, n_{MrM}$ 이라고 하고 調査된 標本의 크기를 n 라고 하면 $n = \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^M njk (J=1, 2, \dots, M)$ 이다. 이 njk, n 로서 定義

한 $\delta_i(J, K)$ 間에는 다음의 關係가 成立된다.

$$\sum_{K=1}^n \delta_i(J, K) = njK \quad (J=1, 2, \dots, M)$$

$$\sum_{K=1}^n \delta_i(J, K) = n \quad (J=1, 2, \dots, M)$$

또한 $flm(J, K)$ 를 다음과 같이 定義한다.

$$\sum_{l=1}^n \delta_i(l, m) \delta_i(J, K) = flm \text{에 } (J, K) \dots (15)$$

即 1項目, m Category에 Check한것中 J項目 K Category에 Check한 數이다. 이것에 對하여 다음과 같이 成立된다.

$$\sum_{m=1}^r flm(J, K) njK \quad (l=1, 2, \dots, M)$$

$$\sum_{m=1}^r \sum_{K=1}^n flm(J, K) = n \quad (l=1, 2, \dots, M)$$

$$flm(J, K) = 0 \quad (l=J, K \neq m)$$

그러나 $\rho = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i a_i / \delta_\alpha \delta_Y$ 이므로

$$\frac{\partial \rho}{\partial tlm} = 0 \text{ 를 만들면}$$

$$\frac{1}{n} \frac{\partial}{\partial tlm} \sum_{i=1}^n Y_i a_i - \delta_{Y\alpha} \frac{\partial \delta \alpha}{\partial tlm} = 0 \dots (16)$$

(16) 式에 있어서 第一項:

$$\frac{1}{n} \frac{\partial}{\partial tlm} \sum_{i=1}^n Y_i a_i = \frac{1}{n} \frac{\partial}{\partial tlm} \sum_{i=1}^n Y_i (t_1 i + t_2 i + \dots + t_M i)$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \delta_i(l, m) \dots (17)$$

($l=1, 2, \dots, M, m=1, 2, \dots, \gamma M$)

또는 $\delta_\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$ 이므로

$$2 \delta_\alpha \frac{\partial \delta \alpha}{\partial tlm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\partial a_i}{\partial tlm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 2 a_i \left(\frac{\partial a_i}{\partial tlm} \right)$$

따라서 (16) 式에 있어서 第2項:

$$\frac{\partial \delta \alpha}{\partial tlm} = \frac{1}{n \delta \alpha} \sum_{i=1}^n a_i \left(\frac{\partial a_i}{\partial tlm} \right) = \frac{1}{n \delta \alpha} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^M t_{ij} \right) \delta_i(l, m)$$

$$= \frac{1}{n \delta \alpha} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \sum_{K=1}^{K_j} t_{jk} \delta_i(l, m) \delta_i(j, K)$$

$$= \frac{1}{n \delta \alpha} \sum_{j=1}^M \sum_{K=1}^{K_j} t_{jK} flm(j, K)$$

$$= \frac{1}{n \delta \alpha} (t_{1\eta} nlm + \sum_{j=1}^M \sum_{K=1}^{K_j} t_{jK} flm(j, K)) \dots (18)$$

여기서 $\sum_i, \sum_{i=1}^n$ 는 同時에 $j=l, K=m$ 가 되는 경우를 除外하고 和를 取하여 表示한다.

(17) 式 (18) 式을 (16) 式으로 代入하여 兩邊에 n 을 除去하면

$$\sum_{i=1}^n Y_i \delta_i(l, m) = \frac{\delta Y^\alpha}{\delta \alpha} tlm nlm + \frac{\delta Y^\alpha}{\delta \alpha} \sum_{j=1}^M \sum_{K=1}^{K_j}$$

$$t_{jK} flm(j, K) \dots (19)$$

($l=1, 2, \dots, M$)
($m=1, 2, \dots, \gamma M$)

(19) 式에서 $\frac{\delta Y^\alpha}{\delta \alpha}$ 는 이것을 1로 生覺해도 좋으므로

$$tlm nlm + \sum_{K=1}^n \sum_{i=1}^r t_{jK} flm(j, K) = \sum_{i=1}^n Y_i \delta_i(l, m) \dots (20)$$

이것을 tlm 을 未知數로 하는 聯立方程式이므로 이것을 풀려는 求하는 t_{jk} 의 值 t_{jk} 이다.

그러나 相關係數는 各己 平均値의 位置에 無關係하며 따라서 各項目의 平均은 어디를 取하여도 좋다. 이것은 M 個의 條件을 붙여도 좋은 것이다.

$\alpha = \bar{Y}$ 의 條件이 있으므로 따로 $(M-1)$ 個의 條件을 붙여도 좋다.

이것은 $t_{li} = 0$ ($j=2, 3, \dots, M$)로 하여 두는것이 便利하다.

따라서 풀어야 할 聯立方程式(20)은 Category의 總數보다도 $M-1$ 個의 階數(Rank)가 터러진 元數의 方式이며 이것이 풀어지면 되는 것이다.

이같이 하여 얻어진 數量 t_{jk} 를 利用하여 各標本 i 別의 得點 α_i 를 計算하면 이것은 (9) 式에서 定義한 \bar{Y} 이며 이것을 根本으로 하여 再次 Y_i 와 \bar{Y}_i 와의 線型性의 程度를 보기 爲하여 相關係數 ρ 를 計算하여 直線回歸方程式을 求하고 實測値와의 適合性을 調査한다.

$$\text{여기서 } \rho = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i Y_i - \bar{Y} \bar{Y} \right] / \delta Y \delta \bar{Y} \text{ 이다}$$

또한 豫測 推定의 基準을 定하기 爲하여 實測値와 推定値와의 差의 平均(\bar{x}) 標準偏差(δ)는 다음式에서 計算된다.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r (Y_i - \bar{Y}_i)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r (Y_i - \bar{Y}_i)^2}$$

따라서 \bar{x} 는 0에 가까울수록, 또한 δ 는 적으면 적을수록 推定의 精度가 妥當한 것이다. 다시 多變量解折의 意味를 一般化하기 爲하여서 外的基準 및 各 因子 相互間의 内部相關行列을 計算하고 이것에서 重相關係數 및 偏相關係數가 求하여 진다.

R을 内部相關行列이라고 하면

$$\text{重相關係數 } \rho_{Y, Y} : 1, 2, 3, \dots, M = \sqrt{1 - IRI/RYY} \dots (21)$$

$$\text{偏相關係數 } \rho_{Y, j} : 1, 2, \dots, M \sqrt{\frac{RY_j}{RYYR_{jj}}} \dots (22)$$

但 R_{ij} 는 R의 i 行, j 行의 要素의 餘分因子 이다.

重相關係數는 推定精度를 意味하여 偏相經係數는 外的基準에 對하여 그것을 構成하고 있는 各項目에 對한 相關係數이다.

即 外的基準(여기서는 地位指數)에 對한 要因이 어는 程度로 影響하는 것인가를 나타내는 尺度가 되는 것이다.

結果 및 考察

잣나무 259plot, 낙엽송 294plot 計 553plot에서 얻은 資料를 利用하여 다음과 같은 林地生産力 區分表를 表4.5에 提供한다.

1. 1tem과 Category의 分類

가. 土壤의 理化學性과 林地生産力區分

1) 잣나무 林地

Table 4. Classification of Item and category on the Korean white pine stand

No	Category Item	Category					
		1	2	3	4	6	3
1	Soil type	B _B B _C	Bo(d)	B _D	B _E		4
2	Bed tock	Granite	Granita Gneiss	Crystalline Schist	Lime Stone	Others	5
3	Soil depth	<60	61-90	91<			3
4	Relief	Convex	Linear	Concave	Mt, Foot.		4
5	Soil moisture	Dry	Moderate	Wet			3
6	Aspect	W	S	E	N		4
7	Consistency	Very Hard(1.6-2.0)	Hard(1.1-1.5)	Soft(0.6-1.0)	Friable(0.5>)		4
8	Slope	31°<	21-30°	20°>			3
9	Soil texture	SL	SIL	L. CL			3
10	A Horigon	20cm>	21-30cm	31-40cm	40cm<		4
11	Altitude	600m<	300-600m	300m>			3
12	Gravel Content	15%>	16-30%	30-40%	41%<		4
13	Deposit	Residual	Creeping	Calluvial			3
14	T-N(%)	0.10%>	0.11-0.20%	0.21-0.30%	0.31-0.40%		4
15	P ₂ O ₅ (ppm)	10PPM>	11-20PPM	21-30PPM	31-46PPM		4
16	K ₂ O(me/100g)	0.15>	0.16-0.25	0.26-0.35	0.36<		4
17	CEC	10.0>	10.1-15.0	15.1<			3
18	pH	5.0>	5.1-5.5	5.6-6.0	6.1<		4
19	O.M(%)	2.0>	2.1-4.0	4.1-6.0	6.1<		4
20	Total base	2.0>	2.1-5.0	5.1-10.0	10.6<		4
12	Base saturation	10>	11-20	21-40	41-60	60<	5
12	C/N	7.5>	7.5-10.0	10.1<			3
23	Na(me/100g)	0.09>	0.10-0.20	0.21-4			3
24	Ca(me/100g)	1.00 >	1.1-3.0	3.1-5.0	5.1<		4
55	Mg(me/100g)	0.50>	0.51-1.00	1.01-1.50	1.51<		4

2) 落葉松林地

Table 5. Classification of Item and Category on the Japanese larch stand

No	Category Item	Category					
		1	2	3	4	5	
1	Soil type	BC	BD(d)	BD	BE		4
2	Bed Rock	Granite	Granite Gneiss	Crystallide Schist	Lime Stone	Others	5
3	Soil depthem	60 >	61-90	91 <			3
4	Relief	Convex	Linear	Wet	Mt, Foot.		4
5	Soil moisture	Dry	Moderate	Wet			3
6	Aspect	W	S	E	N		4
7	Consistency	Hard(1.1-1.5)	Soft(0.6-1.0)	Friable(0.5) >			3
8	Slope	31° <	21-30	20 >			3
9	Soil texture	SL(m)	SL(1)	L. CL	SiL		4
10	A Horizon	20 >	21-30	31-40	40 <		4
11	Altitude	901 >	601-900	301-600	300 >		4
12	Gravel Content	15 >	16-30	30-40	41 <		4
13	T-N(%)	0.10 >	0.11-0.20	0.21-0.30	0.31-0.40		4
14	P ₂ O(ppm)	10 >	11-20	21-30	31-40		4
15	K ₂ O(me/100g)	0.15	0.16-0.25	0.26-0.35	0.36 <		4
16	CEC	10.0 >	10.1-15.0	15.1 <			3
17	PH	5.0 >	5.1-5.5	5.6-6.0	6.1 <		4
18	O. M (%)	2.0 >	2.1-4.0	4.1-6.0	6.1 <		4
19	Total base	2.0 >	2.1-5.0	5.1-10.0	10.0 <		4
20	Base saturation	10 >	11-20	21-40	41-60		4
21	Deposit	Residual	Creeping	Colluvial			3
22	Na(me/100g)	0.10 >	0.10-0.20	0.21 <			3
23	Ca(me/10g)	1.00 >	1.10-3.00	3.1-5.0	5.1 <		4
24	Mg(me/100g)	0.5 >	0.6-1.5	1.6-3.0	3.1 <		4
25	C/N Ratio	5.0 >	5.1-10.0	10.1-15.0	15.1 >		4

2. 土壤의 理化学성과 林木成長 結果의 解析

가. 잣나무 成長과 土壤의 理化学的 条件

잣나무林的 標準木과 當該土壤을 調査 分析한 Sample數는 259plot로서 25個 Item, 93個의 Category 이다. 落葉松에서와 같이 土壤物理性(形態學性包含) 및 土壤化學性을 分析하고 偏相關係數가 큰것을 골라서 土壤의 理化學性을 分析한 結果만 表示하면 다음과 같다.

1) 理化學的性質과 成長

가) 要因群 Score分析

나) 實測地位指數의 對應表

實測地位指數와 推定地位指數의 對應表의 分析에 依해 다음과 같이 要約된다.

平均偏差 Mean deviation 0.174239E-0.4

偏差의 變異 Variance of deviation 0.1141120-0.1

偏差의 標準誤差 Standard error of deviation 0.1068E-0.1

標準地의 最大偏差 Max, deviation and its

Sample No-5924 No. 85

標準地의 最少偏差 Min, deviation and its

Sample No-52489 No. 34

Table 6. Solution Score table by physical and chemical soil factors to Korean white pine

ITEM	CATEGORY	SCORE	MEAN SCORE	DEVIATION	RANGE	VARIANCE RATIO
SOIL TYPE	1	11.24890	12.17810	-0.92920	2.59772	0.09860
	2	12.45917		0.28107		
	3	12.50150		0.32340		
	4	13.84613		1.66803		
SOIL DEPTH	1	0.00000	0.35935	-0.35935	0.52966	0.00733
	2	0.46328		0.10393		
	3	0.52966		0.17031		
RELIEF	1	0.00000	0.20578	-0.20578	0.47050	0.00359
	2	0.26102		0.05525		
	3	0.26001		0.05424		
	4	0.47050		0.26472		
SOIL MOISTURE	1	0.00000	0.29320	-0.29320	0.58485	0.01208
	2	0.58485		0.29165		
	3	0.53868		0.24548		
ASPECT	1	0.00000	-0.17785	0.17785	0.84635	0.01475
	2	-0.61576		-0.43791		
	3	-0.36087		-0.18302		
	4	0.23059		0.40844		
CONSISTENCY	1	0.00000	1.35171	-1.35171	2.15501	0.08360
	2	0.97185		-0.37986		
	3	1.59744		0.24573		
	4	2.15501		0.80329		
A HORIZON	1	0.00000	0.20998	-0.20998	0.89226	0.01442
	2	0.49198		0.28200		
	3	-0.01834		-0.22832		
	4	0.87392		0.66394		
ALTITUDE	1	0.00000	-0.03446	0.03446	0.40149	0.00501
	2	-0.23170		-0.19724		
	3	0.16979		0.20425		
DEPOSIT	1	0.00000	0.00069	0.00069	0.13042	0.00044
	2	0.06692		0.06624		
	3	-0.06350		-0.06419		

T-N	1	0.00000	0.06154	-0.06154	0.33125	0.00100
	2	0.08525		0.02372		
	3	0.02446		-0.03708		
	4	0.00439		-0.05715		
	5	0.33125		0.26971		
P ₂ O ₅	1	0.00000	0.33301	-0.33301	0.91812	0.01525
	2	0.03781		-0.29520		
	3	0.37038		0.03737		
	4	0.91812		0.58511		
	5	0.78426		0.45126		
K ₂ O	1	0.00000	0.33734	-0.33734	0.88742	0.01356
	2	0.31321		-0.02412		
	3	0.88742		0.55009		
	4	0.61894		0.28160		
TOTAL BASE	1	0.00000	-0.04565	0.0455	0.93944	0.01141
	2	0.18765		0.23329		
	3	-0.33544		-0.28980		
	4	-0.75179		-0.70615		
BASE SATU- LATION	1	0.00000	0.10648	-0.10648	0.67690	0.00739
	2	0.00112		-0.10536		
	3	0.02553		-0.08094		
	4	0.28110		0.17452		
	5	0.67690		0.57042		
C/N RATIO	1	0.00000	0.09491	-0.09491	0.15299	0.00061
	2	0.12883		0.03392		
	3	0.15299		0.05807		

MULTIPLE CORRELATION COEFF. $\rho_{Y \cdot \bar{Y}} = 0.9103$

다) 内部相關行列 分析

Table. 7. Inner correlation coefficient matrix for Korean white pine.

	SOIL TYPE Total B.	SOIL DEP BAS ESAT.	RELIEF C/N	SOIL M. Y (1)	ASPECT	CON-SIST.	HORI-ZON	ALTI-TUTE	DEPO-SIT.	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
SOIL TYPE	1.0000 -0.0307	0.4676 0.1807	0.4538 0.2796	0.6280 0.7553	0.1311	0.6015	0.3875	-0.1179	-0.3156	0.1644	0.2340	0.2608
SOIL DEPTH	0.4676 0.0744	1.0000 0.0593	0.4533 0.2263	0.5773 0.6316	0.1663	0.6395	0.3685	-0.1082	-0.2195	0.1480	0.2677	0.1296
RELIEF	0.4538 0.0644	0.4533 0.0231	1.0000 0.1328	0.5104 0.5637	0.1648 .1790	0.5360	0.3399	-0.1078	-0.3331	0.1965	0.1492	0.2467
SOIL MOISTURE	0.6280 0.0339	0.5773 0.1143	0.5104 0.2934	1.0000 0.7116	0.0000	0.6475	0.4173	-0.1144	-0.3233	0.1455	0.2133	0.2462
ASPECT	0.1311 -0.0077	0.1663 -0.0172	0.1648 0.0154	0.1790 0.2664	1.0000	0.1180	0.0979	0.0088	-0.0200	0.0617	0.0843	0.0278
CONSISTENCY	0.6015 0.0133	0.6395 0.1100	0.5350 0.2267	0.6475 0.7720	0.1190	1.0000	0.3808	-0.1706	-0.1987	0.1702	0.3030	0.2822
AHORIZON	0.3875 -0.0122	0.3685 0.1002	0.3399 0.2075	0.4173 0.5066	0.0979	0.3808	1.0000	-0.0756	0.2800	0.0731	0.2029	0.1415
ALTITUDE	-0.1179 0.0702	-0.1082 -0.0528	-0.1078 0.1427	-0.1144 -0.0661	0.0088	-0.1706	-0.0756	1.0000	0.0487	-0.0249	0.1526	-0.0183
DEPOSIT	-0.3156 -0.0212	-0.2195 -0.0553	-0.3331 -0.0708	-0.3233 -0.2836	-0.0200	-0.1987	-0.2800	0.0487	1.0000	-0.0997	-0.1403	-0.1404
T-N	0.1644 -0.0696	0.1480 0.0775	0.1964 0.0328	0.1455 0.2152	0.0617	0.1702	0.0731	-0.0249	-0.0997	1.0000	0.1198	0.1276
P205	0.2340 0.1024	0.2677 -0.0217	0.1492 0.1834	0.2133 0.3929	0.0843	0.3030	0.2029	-0.1526	-0.1403	0.1198	1.0000	0.1273
K20	0.2608 -0.3109	0.1296 0.3417	0.2467 0.0657	0.2462 0.3665	0.0278	0.2822	0.1415	-0.0183	-0.1404	0.1276	0.1273	1.0000
TOTAL Base	-0.0307 1.0000	0.0744 -0.7234	0.0644 0.0087	0.0339 0.0303	-0.0077	0.0133	-0.0122	0.0702	0.0212	-0.0686	0.1024	-0.3109
BASE SATALATION	0.1807 -0.7234	0.0593 1.0000	0.0231 0.0635	0.1143 0.1624	-0.0172	0.1100	0.1002	-0.0529	-0.0553	0.0775	-0.0217	0.3417
C/N Ratio	0.2796 0.0087	0.2263 0.0635	0.1328 1.0000	0.2934 0.3107	-0.0154	0.2267	0.2075	0.1527	-0.0708	0.0328	0.1834	0.0657
Y (1)	0.7553 0.0303	0.6316 0.1624	0.5637 0.3107	0.7116 1.0000	0.0264	0.7720	0.5066	-0.0661	-0.2836	0.2152	0.3929	0.3665

라) 偏相關性 分析

Table 8. Partical correlation coefficient of each Item for Korean white pine.

ITEM	COEFF
Soil type	0.4748
Soil Depth	0.1482
Relief	0.1116
Soil Moisture	0.1710
Aspect	0.2753
Consistency	0.4022
A Horizon	0.2455
Altitude	0.1616
Deposit	0.0456
T-N	0.0745
P ₂ O ₅	0.2644
K ₂ O	0.2408
Total Base	0.1694
Base Saturation	0.1373
C/N Ratio	0.0548

2) 化學性 和 成長

가) 잣나무 地位指數와 土壤化學的性質과의 關係.
土壤化學的 性質과 地位指數와의 偏相關

Table 9. Partial Correlation Coefficient of each soil chemical properties for Korean whit pine.

Soil Chemical Properties	Pectial Correlation Coefficient	Remark
P ₂ O ₅	0.8625	
Total Base	0.2652	
T-N	0.2403	※Multiple Correlation Coefficient $\rho_{Y \cdot \hat{Y}} = 0.7365$
Na	0.2221	
C/N Ratis	0.2183	※259 plots
PH	0.2164	
Ca	0.1919	
Base Saturation	0.1705	※12 Item, 46 Category
O. M	0.1583	
K ₂ O	0.1397	
CEC	0.1191	
Mgo	0.0860	

3) 物理性 和 成長

가) 잣나무 地位指數와 土壤理化化學性과의 關係.
土壤物理的性質과 地位指數와의 偏相關

Table 10. Partial Correlation Coefficient of each soil physical properties for Korean white pine.

Soil physical properties	Partial correlation Coefficient	Remark
Soil Type	0.4659	※Multiple Correlation Coefficient $\rho_{Y \cdot \hat{Y}} = 0.8996$
Bed Rock	0.2516	
Soil Depth	0.1034	
Relief	0.1275	
Soil Moisture	0.1883	※259 plot
Aspect	0.2429	
Consistency	0.4032	※13 Item, 47 Category
Deposit	0.1144	
Soil texture	0.0758	
A Horizon	0.2394	
Altitude	0.1418	
Gravel Content	0.0676	
Slope	0.0183	

나. 落葉松 成長과 土壤의 理化學的 條件.

落葉松의 Sample數는 294Plot이며 林地生產力 區分表에서와 같이 林木生長에 미치는 要因을 25個 Item으로 区分하고 各 Item을 다시 3~5個로 細分한 Category로 分類 하였다. 25個 Item中 土壤의 理化學的 Item은 16個이며 土壤의 形態學的 Item은 5個 이고 土壤環境(立地) Item은 4個이다. 이들의 計算過程은 地位指數 Y와 土壤物理學的性質(土地立地要因包含)을 計算하고 다음은 같은 方法으로 地位指數와 土壤의 化學的性質을 計算하여 偏相關係數가 높은것만 選拔하여 15個 要因(15Item)을 가지고 分析한 結果는 다음 表와 같다.

1) 理化學性 和 成長

가) 要因群 Score分析

나) 實測地位指數의 對應表

實測된 地位指數와 推定地位指數와를 分析한 綜合結果는 다음과 같다.

平均偏差 (Mean deviation) 0.578692E-04
偏差의 變異 (variance of deviation) 0.157965D-0.1

Table 11. Solution score table by physical and chemical soil factors to Japanese Larch.

ITEM	Category	Score	Mean Score	Deviation	Range	Variance Ratio
Soil type	1	11.84165	12.83151	-0.98986	1.75622	0.02837
	2	12.98685		0.15534		
	3	13.20853		0.37702		
	4	13.59786		0.76635		
Soil Depth	1	0.00000	2.11871	-2.11871	2.52765	0.04187
	2	2.14665		0.02795		
	3	2.52765		0.40895		
Relief	1	0.00000	0.31326	-0.31226	1.48376	0.01841
	2	0.10340		-0.20986		
	3	0.20988		-0.10328		
	4	1.48376		1.17050		
Soil Moisture	1	0.00000	0.72452	-0.72452	1.93872	0.02930
	2	0.76324		0.03772		
	3	1.93872		1.21420		
Consistency	1	0.00000	0.60095	-0.60095	1.11160	0.01204
	2	0.63467		0.03372		
	3	1.11160		0.51066		
Soil Texture	1	0.00000	0.00398	-0.00398	1.02417	0.03649
	2	-0.76772		-0.77170		
	3	0.25645		-0.11648		
	4	-0.11250		0.25247		
A Horizon	1	0.00000	0.23109	-0.23109	0.85364	0.00633
	2	0.14431		-0.08677		
	3	0.64275		0.41166		
	4	3.85364		0.62256		
Altitude	1	0.00000	-0.04470	0.04470	1.05996	0.01169
	2	0.12807		0.17278		
	3	0.23954		0.28425		
	4	-0.82042		+0.77571		
T-N	1	0.00000	0.84391	-0.84391	1.37086	0.01535
	2	0.58630		-0.25761		
	3	1.07445		0.23054		
	4	1.36061		0.51670		
	5	1.37086		0.52695		

AvP ₂ O ₅	1	0.00000	0.47769	-0.47769	1.40627	0.00745
	2	-0.46659		-0.01109		
	3	0.33535		-0.04233		
	4	0.75898		0.28129		
	5	1.40627		0.92858		
Ex. K ₂ O	1	0.00000	0.10632	-0.10632	0.47771	0.00218
	2	-0.01677		-0.12309		
	3	0.25365		0.14732		
	4	0.44094		0.35462		
pH	1	0.00000	0.30254	-0.30254	1.17228	0.01355
	2	0.04094		-0.26161		
	3	0.10867		-0.19387		
	4	1.17223		0.86569		
Total Base	1	0.00000	-0.16425	0.16425	0.51617	0.00352
	2	-0.32684		-0.16259		
	3	0.07319		0.23744		
	4	-0.54298		-0.37872		
Base Saturation	1	0.00000	0.24565	-0.24565	0.48466	0.00138
	2	0.26434		0.01869		
	3	0.40466		0.15981		
	4	0.21977		-0.02588		
	5	0.33436		0.08871		
Deposit	1	0.00000	0.57889	-0.57887	1.74537	0.02769
	2	0.63131		0.05242		
	3	1.74537		1.16649		

偏差의 標準誤差 (Standard error
of deviation) 0.1257E-0.1
標準地의 最大 偏差 (Max, deviation

and its sample No.) 2.836. Plot No 203
標準地의 最大 偏差 (Min, deviation
and its sample No.) -3.7780. Plot No195

다) 内部 相關 行列 分析

Table 12. Inner Correlation Coefficient matrix for Japanese Larch.

	SOIL-TYPE TOTAL-BAS	SOIL-DEP BASE-SAT	RELIEF Depo-sit	SOIL M Y(1)	CONSI- STE	SOIL TEX- TURE	AHORI- ZON	ALTI- UDE	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	PH
SOIL TYPE	1.0000 -0.0450	0.6136 0.0632	0.4266 0.5147	0.6570 0.7574	0.5018	0.0875	0.4362	0.0731	0.4370	0.1833	0.2221	0.1946
SOIL DEPTH	0.6136 -0.0406	1.0000 0.0750	0.2636 0.3900	0.4680 0.6890	0.4332	0.2239	0.2839	0.1544	0.4531	0.1861	0.2002	0.1161
RELIEF	0.4266 -0.0506	0.2636 0.0632	1.0000 03 433	0.5162 0.5743	0.3230	0.0722	0.4018	0.1292	0.2149	0.2118	0.1918	0.2203
SOIL MOISTURE	0.6570 -0.1021	0.4680 0.0396	0.5182 0.4502	1.0000 0.7270	0.4825	0.1563	0.4340	0.1153	0.4380	0.1099	0.2431	0.1813
CONSI- STENCY	0.5018 -0.1295	0.4332 0.0397	03 230 0.2816	0.4825 0.5345	1.0000	0.1433	0.2373	-0.0464	0.3395	0.0477	0.1711	0.0283
SOIL TEXTURE	0.0875 0.0771	0.2239 0.0255	0.0722 0.1878	0.1568 0.3002	0.1433	1.0900	0.1543	0.1090	0.2604	0.1486	0.0989	-0.0326
A HORIZON	0.4362 0.0043	0.2839 0.0406	0.4018 0.3948	0.4340 0.5552	0.2373	0.1543	1.0000	0.2635	0.3525	0.2239	0.1067	0.1141
ALNTITUDE	0.0731 -0.0781	0.1544 0.0330	0.1292 0.0672	0.1153 0.2793	-0.0464	0.1090	0.2635	1.0000	0.1807	0.1178	0.0382	0.1999
T-N	0.4370 -0.0498	0.4531 -0.0287	0.2149 0.3189	0.4380 0.5942	0.3395	0.2640	0.3525	0.1807	1.0000	0.2458	0.3207	0.0759
P ₂ O ₅	0.1833 0.1752	0.1861 0.0386	0.2118 0.2503	0.1009 0.3485	0.0677	0.1486	0.2239	0.1173	0.2458	1.0000	0.1064	0.0595
K ₂ O	0.2221 -0.1049	0.2002 0.1835	0.1918 0.2428	0.2431 0.3453	0.1771	0.0989	0.1007	0.0382	0.3207	0.1064	0.0000	0.2036
PH	0.1946 -0.2160	0.1161 0.2208	0.2203 0.1741	0.1813 0.3134	0.0283	-0.0326	0.1141	0.1999	0.0759	0.0595	0.2036	1.0000
TOTAL BASE	-0.0050 1.0000	-0.0406 -0.3798	-0.0506 0.0006	-0.1021 -0.0321	-0.1295	0.0771	0.0034	-0.0781	-0.0498	0.1752	-0.1049	-0.2160
BASE BATULATION	0.0632 -0.3798	0.0750 1.0000	0.0632 0.1072	0.0396 0.1210	0.0397	0.0255	0.0406	0.0330	-0.0287	0.0386	0.1835	0.2208
DEPOSIT	0.5147 0.0006	0.3900 0.1072	0.3433 1.0000	0.4502 0.6379	0.2816	0.1878	0.3948	0.0672	0.3189	0.2503	0.2428	0.1741
Y(1)	0.7574 -0.0321	0.6890 0.1210	0.5734 0.6379	0.7270 1.0000	0.5345	0.3002	0.5552	0.2793	0.5942	0.3485	0.3453	0.3134

다) 偏相關性 分析
偏相關係數

Table 13. Partial correlation coefficient of each Item for Japanese Larch.

ITEM	COEFF.
Soil Type	0.3010
Soil Depth	0.4171
Relief	0.3153
Soil Moisture	0.3272
Consistency	0.2594
Soil Texture	0.2230
A Horizon	0.1920
Altitude	0.2898
T-N	0.2824
P ₂ O ₅	0.2327
K ₂ O	0.1276
PH	0.3069
Total Base	0.1561
Base Saturation	0.1001
Deposit	0.3764

2) 化學性 和 成長

落葉松地位指數와 土壤의 化學的性質과의 關係分析 結果

Table 14. Partial correlation coefficient for each soil chemical properties for Japanese Larch.

Soil Chemical Properties	Partial Correlation Coefficient	Remark
Base Saturation	0.7292	※Multiple Correlation Coefficient $\rho_{Y \cdot \bar{Y}} = 0.7474$ ※12 Item, 46 Category ※294 Plot
O. M	0.4907	
C _a O	0.4472	
C/N Ratio	0.3473	
P ₂ O ₅	0.3401	
PH	0.2817	
K ₂ O	0.2648	
T-N	0.2558	
M _a O	0.2141	
CEC	0.2136	
Total Base	0.1819	
NaO	0.1665	

3) 物理性 和 成長

物理的性質과 地位指數와의 偏相關係數

Table 15. Partial Correlation Coefficient of each soil physical properties for Japanese Larch

Soil Physical Properties	Partial Correlation Coefficient	Remark
Deposit	0.4086	※Multiple Correlation Coefficient $\rho_{Y \cdot \bar{Y}} = 0.9272$ ※294 Plot ※14 Item 60 Category
Soil Deph	0.3988	
Soil Moisture	0.3335	
Altitude	0.3263	
Relief	0.2927	
Soil type	0.2535	
A Horezon	0.2201	
Consistency	0.2138	
Orgamic matter	0.2084	
Soil Texture	0.1348	
Bed rock	0.1196	
Gra el Content	0.0996	
Aspect	0.0554	
Slope	0.0491	

以上과 같이 落葉松 및 잣나무에 있어서 土壤의 物理的性質에 있어서나 化學的性質에 있어서 供히 高度의 相關性을 나타내고 있으며 다만 化學的 土壤因子의 表示方法을 改善한다면 더욱 높은 有意性이 나타날것이 予測된다.

① 잣나무 259標準地와 落葉松 294標準地에서 調査分類된 土壤要因群數는 各已 25個 Items이며 이를 다시 土壤因子別로 細分한 것은 落葉松林地에서는 化學的土壤因子 46個 Category이고 物理的 및 形態學的 分類因子는 48個의 Category로 区分하였고 잣나무 林地에서는 化學的土壤因子 46個 Category와 物理的 및 形態學的 分類因子는 47個 Category로 区分하여 電子計算機에 依하여 地位와의 相關性을 分析하여 林木生長과의 關係가 높은것을 樹種別로 各已 15個 要因群을 골라 이를 다시 56個의 理化學的 土壤因子를 選定 林木生長과의 關係를 究明하였다.

② 落葉松과 잣나무는 우리나라 2大 造林樹種으로서 溫帶中部에서 北部에 이르기까지 造林이 되어 있으나 適地特性이 究明되어 있지 않으므로 이를 明白히 한것이며 또한 尙今까지도 土壤의 物理的性質

이 林木生長과의 關係가 크다는 從來의 肯定的인 學說을 뒤엎고 化學的性質도 物理的性質 못지 않게 重要한 것이라는 것을 本 研究結果 究明된 것이다.

林木生長과 土壤要因과의 關係를 重相關係數로 示 나타내면 다음 表와 같이 要約될수 있다. 地位指數와 土壤要因과의 重相關性.

Table 16. Multiple Correlation and Number of soil factors(Item) in reation to soil properties for two specaes.

樹 種 Species	區 分 Soil properties	土 壤 要 因 群 Soil factors (Item)	重 相 關 係 數 Multiple Correlation Coefficient
잣 나무 Korean White Pine	土壤物理性 Physical Properties	13	$\rho Y. \bar{Y} = 0.8996$
	土壤化學性 Chemical Properties	12	$\rho Y. \bar{Y} = 0.7365$
	※ 理化學性 ※ Physi-Chemical	15	$\rho Y. \bar{Y} = 0.9103$
落 葉 松 Japanese Larch	土壤物理性 Physical Properties	14	$\rho Y. \bar{Y} = 0.9272$
	土壤化學性 Chemical Properties	12	$\rho Y. \bar{Y} = 0.7474$
	※ 理化學性 ※ Physi-Chemical Properties	15	$\rho Y. \bar{Y} = 0.9434$

但 $\hat{Y} = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n$

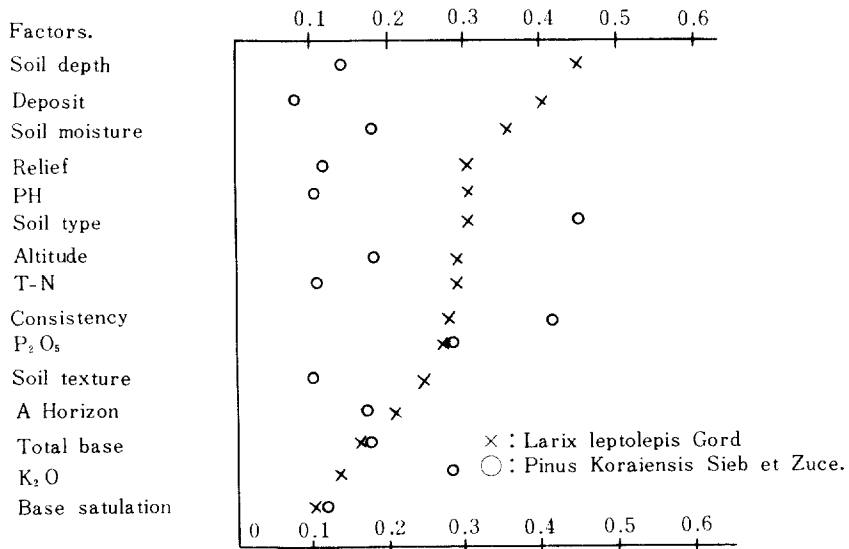
Y = Actual site index

\hat{Y} = Extimated site index

$X_1 + \dots + X_n$; Soil factors

③ 잣나무와 落葉松의 適地特性을 綜合하기 爲하여 林木生長과 各土壤因子와의 偏相關性을 圖表로서 表示하여 보면 다음과 같이 土壤의 要求度가 다르다는 것을 알수 있다.

Table 17. Partial Correlation Coefficient of the Soil Factor for two species.



即 落葉松 適地에서는 잣나무生長을 比較的 良好 하나 잣나무 適地에는 落葉松造林은 可能한 것이나 落葉松生長은 不良한 것이다.

落葉松의 境遇에는 土深 推積樣式 土壤水分 地形 pH, 土壤型 T-N 緊密度 P₂O₅ 土性 A Horigon Total base, K₂O, Base Saturation 等的 順位로 落葉松成長에 寄與하고 있다.

잣나무의 境遇는 土壤型 緊密度 方位 P₂O₅ AHorizon K₂O 土壤水分 Total base 標高 土深 Base saturation 地形 T-N C/N率 推積樣式 等的 順位로 잣나무에 生長에 關與하였으며 잣나무는 落葉松보다는 地力의 要求度가 적은 것이 었다.

4) 土壤의 化學的性質과 林木生長關係를 分析한 結果는 다음과 같다.

落葉松 및 잣나무林地에 있어서 土壤化學的性質이 林木生長에 미치는 影響을 살펴보면 落葉松林地에서의 要求度가 높다는 것을 알 수 있다. 以上과 같이 土壤의 化學的性質에 있어서도 偏相關性이 落葉松보다 잣나무가 一般的으로 낮게 나타나고 있으며 偏相關係數의 土壤因子別로 順位도 다르게 나타났다.

落葉松과 잣나무地區의 土壤의 化學的因子를 順位別로 比較하여보면 다음과 같다.

Table 18. The decreasing order of Weight for 6 Soil nutrients by Species.

Species	Partial correlation arder of soil nourishments
Korear white pine	P ₂ O ₅ , K ₂ O, N, CaO, MgO, N _a
Japanese Larch	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, CaO, MgO, N _a

⑤ 樹種別로 土壤의 理化學的要因과 林木生長關係를 究明된것 중에서 土壤養料로서 重要한 6個元素即 N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, N_aO의 偏相關 順位를 比較對照하여 보면 落葉松地區에서는 N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, N_aO의 順位이며 잣나무地區에서는 P₂O₅, K₂O, N, CaO, MgO, N_aO의 順位였으나 6個 土壤養料以外에 Basic Saturation, C/N ratio, Total Base를 包含시켜 計算分析된 順位는 落葉松林地에서는 Basic saturation, N, CaO, C/N ratio, P₂O₅, K₂O MgO Total Base, N_aO의 順位로 나타났으며 잣나무에서는 P₂O₅, Total Base, N_aO, C/N ratio, CaO, Basic s aturation, K₂O MgO의 順位로 林木에 關與하는 것으로 나타났다.

이것은 Computer로 分析할 境遇 頻도와 重要도에 따라 綜合分析할 境遇와 部分的으로 分析할 境遇에 따라 다르게 나타나게 되는 것이므로 今後 研究課題의 하나가 되기도 한다.

LITERATURE CITED

1. Aird, P.L. and stons, E. S. 1955. Soil characteristics and the growth of European and Japanese larch in New york. J. Forestry. 53, 423-29.
2. Arneman, H. F. and Mc Miller, P. R. 1955. The physical and mineralogical propertis of related Minnesota prairic soils. Ibid. 19, 348-51.
3. Arend, J. L. and Collins, R. F. 1948. A site classification for eastern red cedar in the ozarks. proc. Soil Sci. Soc. Amer. 13, 510-11.
4. Auten, J. T. 1941. Some base-exchange relations of old-growth forest soil profiles in the central states. Ibid. 6, 404.
5. Auten, J. T. 1945. Production of site index for yellow poplar from soil and topography, J. Forestry, 43. 662-68.
6. Basinski, J. J. 1959. The Russian approach to soil classification and its recent development. J. Soils Sci. 10, 14-26.
7. Baver, L. D. 1952. Soil physica. 105-62, Wiley, New york.
8. Becking, R. W. 1954. Site indicators and forest types of the Dugl-sfir region of western washington and oregon ph. dissertation, Vnil, Wash, Seattle. 157-159.
9. Black, C. A. 1967. Soil-plant Relationships. 70-654.
10. Broadfoot, W. M. 1969. Problems in relating soil to site index for Southern Hard woods. For. Sci. Vol. 5. No. 4 354-365.
11. Caldwell, A. C. Farnham, R. S. and Hammers, F. L. 1955. A Chemical and mineralogical study of clay minerals from several gray-brown podzoile soils of Minnesota. proc. Soil sci. Soc. Amer. 19, 351-54.
12. Carmean, W. H. 1956. Suggested modifications of the standard dou-

- glasfir site curves for certain soils in Southwestern Washington. *Forest Sci.* 2, 242-50.
13. Crmean, W. H. 1968.
Tree-height-growth patterns in relation to Soils and site. *Tree growth and Forest soils*
Third North Amer. For. Soils. Conf. Oregon
state press. 449-512.
 14. Coile, T. S. 1935.
Relation of site index of Shortleaf pine to certain physical properties of soil. *J. Forestry*, 33, 726-30.
 15. Coile, T. S. 1937.
Composition of the leaf litter of forest trees. *Soil Sci.* 43, 349-55.
 16. Coile, T. S. 1938.
Forest classification: Classification of forest site with special reference to ground vegetation. *J. Forestry*, 36, 1062-66.
 17. Coile, T. S. and F. X. Schumacher 1953.
Relation of Soil properties to soil index of Loblolly and shortleaf pines in the piedmont Region of the Carolinas, Georgia, and Alabama. *T. For.* 51, 739-745.
 18. Coile, T. S. 1960
Summary of Soil-Site evaluation 76-85.
 19. Copeland, O. L. 1958.
Soil-Site index studies of western white pine in the northern Rocky mountain region. *proc. Soil. Sci. Soc. Amer.* 22, 268-69.
 20. Croul, P. J. 1968.
Longleaf pine site index poorly correlated with soil type in Southern Alabama U. S. For. Ser. Res. Note. So-73. 3.
 21. Dahms, W. G. 1963.
Correction for a possible bias in developing site index curves from selected tree data. *Tour. For.* 25-28.
 22. Doolittle, W. T. 1958.
Site index comparisons for several forest species in the Southern Appalachians. *Proc. Soil Sci. Amer.* 22, 455-57.
 23. Doolittle, W. T. 1957.
Site index of scarlet and black oak in relation to southern Appalachian soil and topography. *For. Sci.* 114-124.
 24. Duchaufour, P. H. 1956.
Note sur les phases de la podzolisation sur Gris Vosgien.
Rapp. 6th Intern. Cong. Soil Sci. E. 367-70.
 25. Duchaufour, P. H. 1956.
The Coniferous forest soil of the lower Vosges. *Forestry Abs.* 17, 16.
 26. Einspahr, D. and McComb, A. R. 1951. S
Site index of oaks in relation to soil and topography in northeastern Iowa. *J. Forestry*, 49, 719-23.
 27. Forristal, F. F. and Gessel, S. P. 1955.
Soil properties related to forest cover type and productivity on the Lee Forest, Washington. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 19, 384-89.
 28. Frei, E. and Cline, M. G. 1949.
Profile studies of normal soils of New York II. *Soil Sci.* 68, 334-44.
 29. Gaisberg, E. V. und Schmid, H. 1933.
Über Fichten-Standeortstypen in Württemberg. *Foretarchiv.* 9, 59-65.
 30. Gaiser, R. N. and Merg, R. W. 1951.
Stand density as a factor in estimating White oak site index. *J. Forestry*, 49, 572-74.
 31. Gardner, R. A. and Wieslander, A-E 1957.
The Soil-vegetation survey in California. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 21, 103-5.
 32. Gessel, S. P. 1950.
Correlation between certain soil characteristics and site for Douglasfir in Washington. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 14, 333.
 33. Gessel, S. P. and J. L. William 1950.
Effect of Some physical properties on Douglas fir site quality. *J. For.* 405-411.
 23. Hansen, N. J. and McComb, A. L. 1958.
Growth of planted green oak, black walnut and other species in relation to observable Soil-Site characteristics in Southeastern Iowa. *J. Forestry*, 56, 473-80.
 34. Harper, H. J. 1940.
Relation of climate conditions, soil characteristics and tree development in the Southern Great plan plains region.
proc. Soil Sci. Soc. Amer. 5, 327-35.
 35. Hebb, E. A. 1962.

- Relation of tree growth to site factors Tenn. Agr. Exp. Sta. Bull. 349, 16-19.
36. Hill, G. A. 1954.
Field methods for investigating site. A. The detailed site description form.
Site Res. Manual, 4, Ontario, Canada.
37. Hill, W. W., Arnst, A. and Bond, R. M. 1948.
Methods of correlating soils with Douglasfir site quality. J. Forestry, 46, 835-41.
38. Hodgkins, E. J. 1960.
Estimating site index for longleaf pine through quantitative evaluation of associated vegetation. Soc. Amer. Foresters proc. 28-33.
39. Jackson, D. S. 1962.
Parameters of site for certain growth components of slash pine.
Duke Univ. School of for. Bul. 16-118.
40. Johnstone, D. E. 1954.
Afforestation of base-deficient soils.
Quarterly J. Forestry, 48, 285-292.
41. Lag, J. 1959.
Investigations of forest soils in S. Trondelag in connection with the field work of the National Forest Survey in Summer 1956. Forestry Abs. 20, 10.
42. Lag, J. 1956.
Influence of variations in some soil-forming factors in a forest area in Southern Norway.
Rapp. 6th Intern. Cong. Soil Sci. E, 43-46.
43. Loaf, A. S. 1956.
Growth of forest plantations on different soils in Finland. Forest Sci. 2, 121-26.
44. Lunt, H. A. and Baltz, M. C. 1943.
Basal area in relation to soil site factors in two Connecticut forests.
Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 8, 415-19.
45. Masami, Asahe 1963.
Studies on the classification of forest soils in the Tokyo university Forest, Hokkaido.
No. 58. 127-132.
46. McClurhin, D. C. 1963.
Soil site index production for white oak in North Mississippi and West Tennessee For. Sci. 108-113.
47. Pearsall, W. H. 1952.
The pH of natural soils and its ecological significance. J. Soil Sci. 3, 41-51.
48. Puri, A. N. 1949.
Soils: Their physics and Chemistry. 14-23.
Rienhold, New York.
49. Ralston, C. W. and Barnes, R. S. 1955.
Soil properties related to the growth and yield of slash pine plantations in Florida.
proc. Soil Sci. Amer. 19, 84-85.
50. Richard, J. A. and Chandler, R. F. 1943.
Characteristics of the great soil groups, Some physical and chemical properties of mature podsol profiles.
proc. Soil Sci. Soc. Amer. 8, 379-83.
51. Siren, G. 1955.
The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology.
Helsinki.
52. Stephens, C. G. 1950.
Comparative morphology and genetic relationships of certain Australian, North American and European soils. J. Soil Sci. 1, 123-48.
53. Stone, R. E. and Lemmon, P. E. 1957.
Soil and the growth of forest. Year book of Agric. 721-32.
54. Storie, R. F. and Wieslander, A. E. 1948.
Rating soils for timber sites. proc. Soil Sci. Soc. Amer. 13, 499-509.
55. Storie, R. E. 1950 Rating soils for agriculture, forest and grazing use Trans. 4th Intern. Cong. Soil Sci. 1, 336-39.
56. Swalley, G. W. 1967.
Soil-Site relations of plant oaks in north Alabama. U. S. For. Ser. Res. Note. 36-64.
57. Tamm, O. 1950.
Principles of classification of forest sites in Sweden by examination of the soil.
Trans. 4th Intern. Cong. Soil Sci. 1, 363-67.
58. Tamm, O. 1950.
Northern coniferous forest soils. Oxford.
59. Tarrant, R. F. 1949.
Douglas-fir site quality and soil fertility.
J. Forestry, 47, 716-20.
60. Trimble, G. R. and Weizmann, S. 1956.
Site index studies of upland oaks in the north-

- ern Appalacians. Forest Sci. 2, 162-73.
61. Tyskevic, G. L. 1959.
Soils under spruce forests of the Corpations,
Forestry Abs. 20, 15.
62. Viro, P. J. 1951.
Nutrient status and fertility of forest soil 1.
pine stands (Summary). Comm.
Institut. Forest. Fenn. 39, 5-36.
63. Vogel, P. 1959.
Bodenbonitierung bei waldyasammenlegungen.
Schweiz. Zeitsch. Forstw. 110, 47-52.
64. Volgt, G. K. Heinselmann, M. L. and Zasada, Z. A.
1957.
The effect of soil characteristics on the growth
of Quaking aspen in northern Minnesota.
proc. Soil Sci. Soc. Amer. 21, 649-52.
65. Whiteside, E. P. 1959.
A proposed system of genetic soil horizon designations.
soils and fertilizers 22, 1-10.
66. White, D. P. and Wood, R. S. 1958.
Growth variations in a red pine plantation influenced
by a deep-lying fine soil layer.
proc. Soil Sci. Soc. Amer. 22, 174-77.
67. Wilde, S. A. 1940.
Classification of clay soils for the purpose of
forest management and reforestation.
Ecology, 21, 34-44.
68. Wilde, S. A. 1955.
The relationship between the degree of soil
podzolization and the composition of ground cover
vegetation. Ecology, 36, 19-22.
69. Wilde, S. A. volgt, G. K. and pierce, R. S. 1954.
The relationships of soils and forest growth in
the Algoma district of Ontario, Canada. J. Soil
Sci. 5, 22-38.
70. Young, H. E. 1954.
Forest soils-site index studies in Maine,
proc. Soil Sci. Soc. Amer. 18, 85-87.
71. Yoshihisa, Mashimo, 1960.
Studies on the physical properties of forest
soils and their relation to the growth of Sugi
and Hinokii Forest Soils of Japan. 1-145.
72. Yoshihisa, Mashimo and Nishizawa, Kawabata, 1965.
Estimation method of site index by Quantification.
73. Yoshihisa, Mashimo and Kazuto. Arimitsu 1976.
Evaluation of Environmental Factors for Forest
Growth by Quantification.
74. Zahner, R. 1958.
Site quality relationships of pine forests in
southern Arkansas and northern Louisiana.
Forest Sci. 4, 162-76.
75. Zavalishin, A. A. 1928.
Some observation on the study of soils with a
close glei horizon. From Joffe's pedology.
76. 鄭印九 1967. 아가시나무와 오리나무適地特性에
關한 研究. (東大論文集)
77. 鄭印九 1970. 適地適樹造林을 爲한 山林土壤 調
査. (林試研究報告 第17号, 77-18.)
78. 鄭印九 1968. 山林土壤調查方法書. 林業試驗 場
例規第 8 号
79. 鄭印九. 眞下育久 1977. 韓國에 於ける日本フラ
マツ及び朝鮮五葉松의 生長と 土壤
環境條件と數量化に 於て 土壤條件
의 解析) 日本林学会.
80. 鄭印九, 眞下育久 1977. 黑松의 生長と 土壤의 理
化學性 及び 土壤環境條件 (數量化
による 要因解析) 日本林学会
81. 鄭印九 1975. 肥培林業. 44-462, 122-214.
82. 鄭印九 1976. 山林經營의 改善 方案. 182-248.
(社団法人·韓國林政研究会)
83. 鄭印九 1977. 土壤의 理化特性과 林木生産에 關
研究 5-151. (山林資源調查研究所)
84. 鄭印九 1978. 밤나무肥培管理. 59-211
(社団法人 加理 研究會)
85. 鄭印九 1978. 韓國林地의 潜在生産能力級數調查
과 그活用に 關한 研究
(韓國造景學會誌通卷113. 39-66)
86. 鄭印九 1979. 數量化による 林地生産力調查 とそ
의 成果 (日本森林立地)
87. 鄭印九 1979. 育苗에 있어서 微量元素過不足 現象
과 그對策 (韓國養苗協會誌 Vol. 7
39-52)
88. 鄭永觀 1979. 土壤의 理化學的性質 및 環境因子
가 樺木生長에 미치는 影響 (建大
(建大博士學位論文)
89. 玄信圭 1940. 白頭山附近의 森林土壤에 於て 日

- 本林学会誌, 22, 400-412
90. 玄信圭 1943. 白頭山 의 爆發前의 森林樹種 植
物学雜誌 Vol. 57, No. 679; 258-
273.
91. 玄信圭 1971. 韓國天然林 및 人工林의 生長力 特
히 制限因子補完에 依한 生長力增
大의 可能性.
92. 朴知巳史 1959. 數量化の予測に關する根本 概念
統計数理研究所
93. 馬相圭 1974. 環境因子의 數量化에 依한 잣나무
林 收穫量推定과 林木生長에 關한
研究 (林試研究報告 Vol. 21, 41-
79)
94. 馬相圭 1974. 環境因子의 數量化에 依한 地位指
數推定 (林試研究報告 Vol. 21, 117
-167)
95. 宮 崎 1942. 四國森林植物と土壤形態との關係
について.
96. 金樟洙・鄭印九 1975. 낙엽송林分에 있어서 土壤
因子에 依한 地位指數의 推定 ()
(高大農林論集 Vol. 15, 47-74)
97. 金樟洙・鄭印九・姜信佑 1979. Italian poplar 生
育과 土壤條件에 關한 研究
(高大農林論集 Vol. 19, 1-12)
98. 川端幸藏 1965~77. 數量化 (I-V)
(農林研究計算センター報告)
99. 管野一郎 1958. 東洋に おける 土壤學の崩
(ペドロジスト, 2, 2-10)
100. 大政正隆 1951: プナ林土壤の研究 (日本林野 土
壤調査報告 1)
101. 丘 本 正 1970: 數量化理論の再検討の必要性
(統計数理研究所)
102. 渡辺田中 1965: 地位指數調査の實際 (數量化によ
る地位指數の推定法について)