

## 경기도 광주지역 잣나무 침엽의 분광특성에 관한 연구

주영득<sup>1</sup> · 김영채<sup>2</sup> · 정동준<sup>2</sup> · 김홍률<sup>2</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 산림과학부, <sup>2</sup>경희대학교 생명자원과학연구소  
(1999년 11월 11일 접수)

### A Study on Spectral Characteristics of Korean White Pine (*Pinus koraiensis* S<sub>IEB</sub> et. Z<sub>UCC</sub>) Needles in Gwangju-gun, Kyunggi-do, Korea

Yeong-Teuk Joo<sup>1</sup>, Young-Chai Kim<sup>2</sup>, Dong-Jun Chung<sup>2</sup>, Hong-Ryul Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Resources Protection, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>2</sup>Institute of Life Science and Natural Resources / Department of Forestry,

Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea

(Manuscript received 15 November 1999)

#### ABSTRACT

This study was carried out to investigate spectral characteristics and chlorophyll contents of *Pinus koraiensis* needles in Gwangju-gun, Kyunggi-do. In spectrum analysis by each age, needle showed difference on 700~1,100 nm(NIR : near infrared ray). Light reflexivity keeps constant between 1st year needle and 3rd year needle, current year needle's value was higher than others and that was higher for 400~500 nm and 600~700 nm at 550 nm. Transmission to needle's age showed the highest result in current year needle. It showed in order of current, 1st, 2nd and 3rd year needle at 550 nm and 750 nm. Especially, current year needles of *Pinus koraiensis* showed a tendency to change transmission coefficient in NIR. The result of transmission coefficient measurement by each position of slope showed in order of middle slope, upper slope and lower slope. But the gathered needle in middle slope made marked change at NIR. Chlorophyll a content of the upper slope's needles was higher than other 4 positions but a component ratio was lower. In needle of the oppressed tree, Chlorophyll a content was rather low than others. Chlorophyll a content by slope positions, the upper slope's needle showed a highest value(4.48 mg/g) and lower slope was lowest value(1.35 mg/g). Chlorophyll b content also showed a similar tendency to chlorophyll a and chlorophyll(a+b) contents.

**Key words :** *Pinus koraiensis*, spectral characteristics, chlorophyll contents

#### I. 서 론

최근 광에너지와 물질순환에 대한 관심 문제로부터 산림의 역할이 강조되면서 산림생태계의 기능에 대한 그 세부적 연구가 절실하게 요구되고 있다. 이와 같은 관점에서 산림생태계에 대한 환경制御機能을 정확하게 설명하기 위한 일환의 하나로 산림에서의 광에너지와 물질순환에 대한 林冠構造의 生理·生態學的 機能을 파악함은 중요한 일이다. 이와 같은 요구에서 근래에

林冠의 光合成에 대한 다양한 실험 연구가 이루어지고 있지만, 이 중 가장 중요한 문제는 光領域(radiative regime)에 대한 정확한 평가라 할 수 있다.

특히, 針葉樹의 경우 葉齡의 다층적 분포와 局部的 生育環境 差에 따른 葉綠素 含量의 分布 變化가 다르게 나타남을 알 수 있다(Smith and Hinckley, 1995). 따라서 針葉樹林의 物質순환에 대한 생리적 기능을 좀 더 명확히 하기 위해서는 生育地의 傾斜面(上·中·下部)과 落葉松林으로부터 피압 생육한 잣나무를 임의로 선

말하고, 林分內 樹木의 경우 樹冠 上·下部의 陽葉과 陰葉 그리고 가지의 전개 방위 등 葉齡別에 대한 葉綠素量의 比較 分析이 필요하게 된다. 또한 葉面積 指數(leaf area index)는 산림의 구조적 특성을 나타내는 중요한 指標 要素 중 하나로서, 葉面積 指數와 직접적으로 相關한다. 葉面積 指數는 樹木의 전체 枝葉部(樹冠)에 대한 蒸發散量을 결정하는데 중요하다는 연구 결과도 있다(McNaughton and Jarvis, 1983). 그리고, Western Oregon 針葉樹 成熟木 群落에 대한 水分 均衡은 葉面積 指數와 높은 상관관계( $R^2=0.95\sim0.99$ )가 있으며(Grier and Running, 1977), 葉面積 指數는 Western Montana의 ponderosa pine 임분에 있어서 재적 성장과도 밀접한 相關이 있다는 결과(McLeod and Running, 1988)도 볼 수 있다.

林冠에 의한 햇빛의 反射는 大氣條件, 土壤 및 落葉層의 구성과 그 특성, 그리고 잎의 光學的 특성이나 林木의 樹冠構造의 반응 등을 縮約的으로 보여주는 것이라 할 수 있다(Gholz, 1982). 특히, 林冠으로부터의 光反射 크기는 光合成 活動 및 그 量과 相關하게 되는데(Goward, 1985), 산림에서 일반적으로 요구되는 장기간의 시간동안 林內 光環境을 평가할 수 있는 방법들은 극히 드물다.

이와 같은 林木의 生理的 特性을 밝히기 위한 광환경 분석과 相關하여 본 연구에서는 현재 우리 나라의 주요 造林樹種의 하나로 취급되어온 잣나무림의 광환경 분석에 의한 생리적 특성 변화 양상을 비교하고자 29년생의 잣나무림을 대상으로 분광 특성(spectral characteristics)을 측정하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 調査地 概況

본 研究 調査를 위해 시행된 조사대상 임분은 京畿道 廣州郡 退村面 地域의 잣나무(*Pinus koraiensis*) 造林地를 대상으로 실시되었다. 이 지역은 1973년 ha

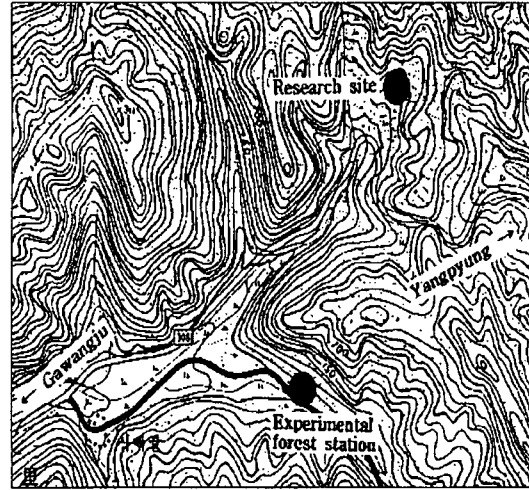


Fig. 1. Location map of the research site.

당 3,000본을 植栽한 人工造林地로서 3차 間伐을 완료한 林木의 生長狀態가 우수한 II영급의 同齡純林을 구성하고 있다. 調査地의 林分 概況 및 位置는 Table 1과 Figure 1에 나타내었다.

### 2.2. 調査 方法

#### 2.2.1. 分光度의 測定

針葉樹의 잎은 葉齡, 附着位置 등에 따라 그 특성이 각기 다르다는 점에서 傾斜面의 上·中·下部에서 調査對象木을 選定, 樹冠의 上部와 下部의 陽葉과 陰葉 그리고 各 調査木 가지의 전개방위별(남, 북)로 구분하고, 또한 林緣部와 주변 落葉松林에 피압상태에 있는 대상목에서 각각 양엽과 음엽을 채취, 측정재료로 사용하였다. 시료는 채취 직후 각각 장소별로 葉령 별 분리하여 착엽가지와 함께 밀폐 보관하여 실험실로 운반하였다.

실험실로 운반된 시료는 standard cosine receptor (LI-COR-1800-11)와 external integrating sphere를 갖춘 LI-COR-1800-22 portable spectroradiometer를 이용하여 400~1,100nm의 범위에서 50nm의 간격으로

Table 1. The general description of experimental forest

| Location                | Species                 | Age(yrs.) | Height (m) | DBH(cm) | Basal Area (m <sup>2</sup> /ha) | Density (trees/ha) | Crown depth(m) | Ratio of Crown depth(%) |
|-------------------------|-------------------------|-----------|------------|---------|---------------------------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| Gwangju-gun, Kyunggi-do | <i>Pinus koraiensis</i> | 28~29     | 10.96      | 17.34   | 37.77                           | 1,600              | 6.69           | 61.04                   |

분광 광도를 측정하였다. 잎의 분광 광도 측정은 먼저 조사지 사면별로 채취한 잎의 수관 착엽 부위별 및 연령별에 따라 林外에서 林內로 입사한 태양광선의 透過率(transmittance)과 反射率 (reflectance)을 각기 측정하였다.

2.2.2. 葉內 葉綠素 含量의 測定

분광특성을 측정하는 과정 중 잣나무 잎의 透過率과 反射率을 측정하고 아울러서 잣나무 잎의 흡광도를 측정하여 채취된 시료의 葉內 葉綠素 含量을 측정하였다.

葉綠素의 抽出은 각 시료당 3점씩 Hiscox and Israelstam(1979)의 DMSO(dimethyl sulfoxide)를 이용한 방법에 의하여 cap tube(외경 15 mm, 길이 12·5 mm)에 DMSO 10 ml를 넣은 후, 채취한 잣나무 잎의 중앙 부위에서 절취한 잎을 0.1 g 넣고, 즉시 65±0.1°C의 항온 수조에서 증탕으로 약 6시간 동안 葉綠素를 추출하였다. 그리고 비색계(UV-spectrophotometer)로 663 nm와 645 nm에서 각각 葉綠素 a와 b의 흡광도를 측정, 그 값을 Arnon법을 수정한 광합성 연구법(Omata and Murata, 1981)에 의한 다음 공식에 의하여 葉綠素 a와 b를 측정, 계산하고 葉綠素의 總含量은 葉綠素 a와 b를 합하여 산정하였으며 그 계산식은 아래와 같다.

$$\text{Chlorophyll a(mg/g dry weight)}=12.70A_{663}-2.59 A_{645}$$

$$\text{Chlorophyll b(mg/g dry weight)}=22.90A_{645}-4.67 A_{663}$$

여기서,  $A_{663}$ 와  $A_{645}$ 는 : 각각의 흡광도를 663 nm 및 645nm에서 측정한 값이다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 잎의 分光度

수관의 구조는 形態的으로 그리고 環境的이거나 位置, 葉齡 等の 差異나 그 특성에 따라 각기 다르게

나타날 수 있는데, 이와 같은 이유에서 光合成 能力도 상당한 局所的 差를 나타내게 된다. 따라서 일반적으로 잎이 나타내는 환경적 조건은 임목의 생육상 나타나는 생리적인 국소환경에 지나지 않을 뿐, 전반적인 생육환경을 대변하지는 못한다. 이에 따라 결국 광합성의 환경을 밝히기 위해서는 각 요인의 개별적 요소를 총합, 그 정확성을 기하여야 한다는 결론에 달한다. 이와 같은 이유는 광합성의 종합적 결과에서 짐작되는 물질생산 결과와 직관한다는 점에서 본 연구는 침엽수가 갖고 있는 연령의 차에 따른 光利用에 관한 사전 정보를 명확히 하기 위하여 葉齡別 光反射率과 透過率에 대한 係數 測定을 하였다.

이에 따라 측정된 잣나무 잎의 연령별에 따른 분광도 분석의 측정 결과를 보면 당년생의 잣나무 유엽과 1~3년생의 잎은 700~1,100 nm 범위의 적색부분(NIR : Near infrared ray)과 550 nm의 녹색부분(green)에서 그 차이점이 나타나는 것을 발견할 수 있었다(Fig.2.). 이 결과에서 1~3년생의 잣나무 잎에서 나타난 광반사율 계수는 모든 분광 분석의 과정에서 일정하게 나타났고, 그 측정값은 각기 비슷하게 計測되었다. 이와 같은 결과는 針葉의 反射率이 적색광과 녹색광에서 흡수와 반사의 유사성이 있다는 다른 研究結果(Alexeyev, 1975; Williams, 1991)와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 침엽의 각 연령별 분광분석 결과를 비교해 보면, 당년생(current year) 잎이 0.063~0.490으로서 그 외 연령의 잎 보다 최고치를 보였으며, 분광분석의 과정에서 녹색부분인 550 nm에서 0.175로 나타나, 400~500 nm와 600~700 nm의 범위에 비해 반사계수가 높게 나타났다. 또한 750 nm이상의 범위에서는 0.487~0.490으로 거의 일정한 수준의 반사계수를 보였는데, 이와 같은 변화 경향은 3년생 잎의 분석결과에서도 유사함을 알 수 있었다. 그 결과는 당년생 잎,

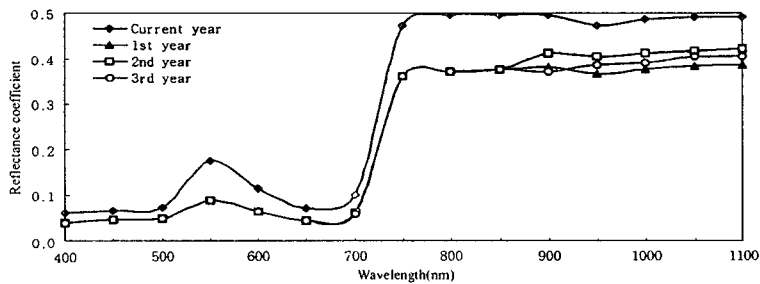


Fig. 2. Reflectance coefficient of needles by each age.

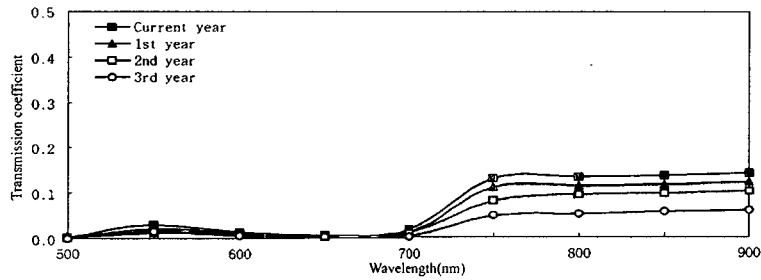


Fig. 3. Transmission coefficient of needles by each age.

2년생, 3년생 그리고 1년생 잎의 順으로 나타났다.

各 年 齡 別 針 葉 에 대 한 光 透 過 率 測 定 結 果 는 Figure 3에 나타내었다. 光 透 過 率 은 反 射 率 과 마 찬 가 지 로 當 年 生 잎 의 光 透 過 率 이 가 장 높 게 나 타 나 는 결 과 를 보 였 는 데, 이 때 當 年 生 잎 의 測 定 置 는 最 低 0.003에 서 最 高 0.139로 나타났 다. 파 장 550 nm에 서 는 當 年 生 잎 이 0.030, 1년 생 이 0.010, 2년 생 은 0.005, 3년 생 은 0.002의 순 으로 나 타 났 고, 750 nm의 투 과 율 계 수 의 측 정 에 서 는 當 年 生 (0.130), 1년 생 (0.110), 2년 생 (0.080) 그리고 3년 생 (0.048)의 순 으로 측 정 되 었 다. 잣 나무 의 當 年 生 잎 의 경 우 에 서 는 NIR 영 역 에 서 光 透 過 率 係 數 가 크 게 변 화 하 는 추 세 를 보 였 다.

光 條 件 이 葉 齡 外 에 斜 面 의 上 · 中 · 下 部 및 樹 冠 의 上 · 下 部 등 着 葉 位 置 에 따 라 나 타 난 反 射 率 係 數 는 Figure 4에 나타 난 바 와 같 이 녹 색 파 장 (550 nm) 범 위 에 서 경 사 면 하 부 의 경 우 0.140이 었 고, 경 사 면 의 중 부 에 서 는 0.900, 상 부 의 경 우 는 0.700부 터 약 간 의 減 少 양 상 을 보 였 다. 사 면 하 부 에 서 채 취 한 잎 은 전 체 적 으 로 분 광 분 석 에 서 반 사 율 계 수 가 높 게 나 타 나 는 결 과 를 보 였 다 (Fig. 4). 즉 녹 색 파 장 범 위 에 서 는 사 면 하 부 의 잎 에 서 가 장 높 은 반 사 율 계 수 를 나 타 냈 으 며, 그 다 음 으 로 는 피 압 목 과 임 목 상 부 에 위 치 한 잎 과 사 면

중 부, 사 면 상 부 의 순 으로 나 타 났 다.

잎 의 위 치 및 사 면 위 치 에 따 른 광 투 과 율 의 측 정 결 과 (Fig. 5)를 보 면, 葉 齡 別 로 는 當 年 生 잎 의 경 우 NIR영 역 에 서 光 透 過 率 係 數 가 높 게 변 화 하 는 추 세 를 보 였 으 며, 사 면 경 사 에 있 어 서 는 分 光 光 度 變 化 가 모 두 NIR과 green의 부 분 에 서 나 타 났 다. 또 한 잎 의 부 착 위 치 에 따 른 수 목 부 위 별 측 정 결 과 는 林 木 上 部 에 서 채 취 한 陽 葉 이 0.060~0.470의 분 부 를 보 였 으 며, 피 압 목 (0.040~0.430), 사 면 하 부 (0.040~0.420) 그 리 고 사 면 중 부 (0.040~0.400)의 순 으로 나 타 났 다.

각 林 木 別, 斜 面 位 置 別 분 류 된 잎 의 透 過 率 係 數 를 측 정 한 결 과 는 Figure 5와 같 았 다. 각 잎 의 측 정 치 는 斜 面 中 部 (0.002~0.013), 斜 面 上 部 (0.002~0.100), 林 木 上 部 (0.001~0.084) 그 리 고 斜 面 下 部 (0.002~0.100)의 順 으로 나 타 났 다. 그 리 나 NIR 범 위 에 서 는 변 화 가 나 타 났 으 며, 그 중 두 드 러 진 것 은 사 면 중 부 에 서 채 취 된 잎 이 었 다. 이 와 같 은 분 광 분 석 의 결 과 를 중 합 하 면, 當 年 生 잎 의 경 우 에 있 어 서 는 NIR영 역 에 서 광 투 과 율 계 수 가 많 이 변 화 하 는 추 세 를 보 였 으 며, 잣 나무 무 림 의 사 면 경 사 도 에 따 른 조 사 에 있 어 서 도 조 사 지 임 목 의 잎 의 光 分 光 度 變 化 는 모 두 NIR, green의 부 분 에 서 나 타 났 다. 또 한 光 透 過 率 係 數 는 잣 나무 잎 의

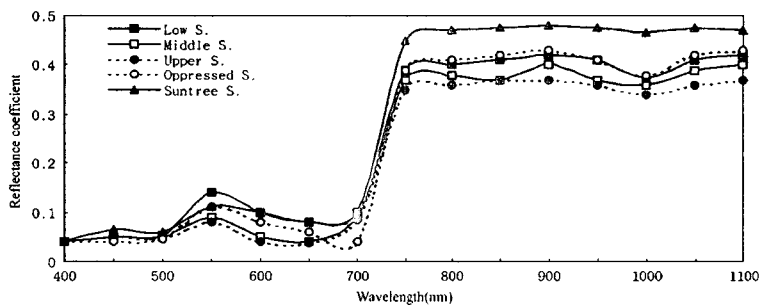


Fig. 4. Reflectance coefficient of needles by each position.

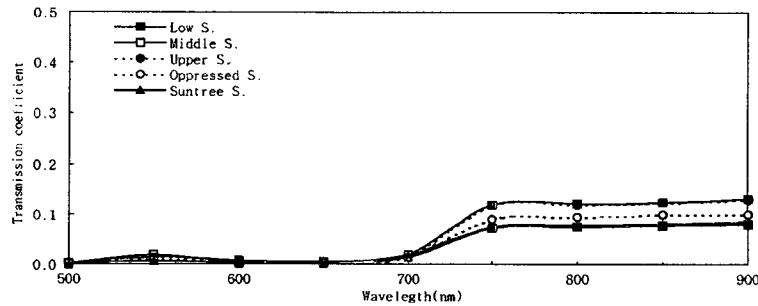


Fig. 5. Transmission coefficient of needles by each position.

각 연령에 따라 그 변이 폭이 심하게 변화하였다. 광의 녹색 파장 범위와 적색 파장의 범위에서 나타난 중요한 차이점은造林地의 경사면 하부에 위치한林木의 앞에서 분광특성이 다르게 나타난 점이다. 피압목은 적색부분과 녹색부분 사이에서 조림지 경사면의 상부와 중부에 위치한 대상목보다 光反射率 係數가 적은 형태로 나타났다.

그리고, 조사 지역 내의 사면 하부 계곡부에서 채취한 잣나무 잎은 전체적으로 분광광도 분석에 있어서 광반사율 계수가 가장 높은 결과를 보였다(Fig. 4). 그러나 NIR 범위에서는 매우 현저한 변화를 나타냈는데, 이때 가장 광투과율 변화를 나타낸 것은 조림지의 사면 중부에서 채취된 잣나무 잎에서 이와 같은 현상이 보였다.

### 3.2. 葉綠素 含量의 分析

樹木體 內에 存在하고 있는 葉綠素 含量은 諸般의 各 環境的 影響에 크게 지배된다는 점에서, 樹木體 內 存在에 대해서는 光合成 能力에 次要되는 光環境의 條件 要求와 그 利用 機能의 觀點으로 판단하게 된다. 결국 이와 같은 점은 體內에 존재하고 있는 葉綠素 含量의 量的 및 質的 要素가 物質 生産 結果를 달리 하기 때문에 그 判斷 領域은 物質 生産의 基礎를 밝히는 데 매우 중요시된다.

이에 본 研究에서는 잣나무림의 環境的 差 等を 基礎로 葉綠素의 質的 變化를 알아보고자 試料에 대한 葉綠素 含量 分析을 시도하였다. 이에 따라 各 生育地 別 및 葉齡別에 대한 葉綠素 a와 b의 含量 및 總葉綠素量과 各 構成比(a/b)를 알아보기 위해 各 區分別로 채취된 잣나무 잎의 葉綠素 影響 評價 結果를 보면 Table 2와 같다. 이에 의하면 當년생의 잣나무 잎이 葉綠素 a(1.23 mg/g)와 b(0.35 mg/g)의 값이 가장 낮게 나타나고 있으나, 葉綠素의 構成比(3.51 : 1)에 있어서는 가장 높게 나타났다.

이상의 결과에서 葉綠素의 含量이 낮다는 것은 光合成 能力이 약하다는 判斷을 하게 된다. 그러나 점차적으로 生長이 지속됨에 따라 빛의 利用率은 증가될 것이지만 當년생의 幼葉의 경우는 그 기관능력 이 낮다는 데 일치하고 있다. 葉齡別 總葉綠素 含量의 變化는 當년생 잎이 1년생, 2년생의 것과 비교해서 거의 모든 試料에서 가장 적게 나타남을 알 수 있었고, 1년생 잎의 含量이 最高置를 나타내었으며 연령이 증가할수록 葉綠素 含量은 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 잣나무의 葉齡別 葉綠素 含量 分析을 실시한 후, 조사 대상지의 경사면의 위치와 잎의 부착 부위별로 분류하여 葉綠素 a와 b, 總葉綠素量(a+b)과 葉綠素 構成比(a/b)의 含量을 Table 3에 나타내었다. 사면 상부에서 채취한 잣나무 잎의 葉綠素 a(4.48 mg/g)와 b(1.64 mg

Table 2. Chlorophyll contents of *Pinus koraiensis* needles at different age

|              | Chlorophyll a (mg/g) | Chlorophyll b (mg/g) | Chlorophyll(a+b)(mg/g) | Chlorophyll(a/b) |
|--------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------|
| Current year | 1.23                 | 0.35                 | 1.58                   | 3.51             |
| First year   | 1.59                 | 0.54                 | 2.13                   | 2.94             |
| Second year  | 1.52                 | 0.52                 | 2.04                   | 2.92             |

**Table 3.** Chlorophyll contents in each position of needle of *Pinus koraiensis*

| Needle division | Chlorophyll a(mg/g) | Chlorophyll b(mg/g) | Chlorophyll(a+b)(mg/g) | Chlorophyll(a/b) |
|-----------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------|
| Lower slope     | 1.35                | 0.45                | 1.80                   | 3.00             |
| Middle slope    | 1.42                | 0.49                | 1.91                   | 2.90             |
| Upper slope     | 4.48                | 1.64                | 6.12                   | 2.73             |
| Sun tree        | 1.53                | 0.45                | 1.98                   | 3.40             |
| Suppressed tree | 1.49                | 0.39                | 1.88                   | 3.82             |

/g)가 다른 4개 장소의 잎보다 많았으나, 구성비는 가장 낮게 나타났다. 葉齡別로 분류하여 측정된 결과, 葉綠素 a와 b의 함량이 가장 많은 1년생의 잎이 구성비는 가장 낮게 나타난 것과 같게 나타났다. 그리고 피압목의 잎은 葉綠素의 함량이 다른 잎 보다 비교적 낮은 값을 보였다. 葉綠素 a의 함량은 總葉綠素(a+b)의 함량과 비슷한 함량 分布를 보였는데, 사면 위치별로는 사면 상부의 잎이 4.48 mg/g으로 最大置를, 사면 하부의 잎이 1.35 mg/g으로 최소의 값을 보였다. 葉綠素 b의 함량도 總葉綠素 함량 및 葉綠素 a의 함량과 같은 경향을 나타내었다.

#### IV. 결 론

京畿道 廣州郡 退村面 陶水里 地域의 29년생의 잣나무 人工林을 대상으로 잣나무 잎의 分光光度和 各 葉齡別, 位置別 잎의 葉綠素 함량 分析을 실시한 結果는 다음과 같다.

1. 잣나무 잎의 연령별에 따른 분광도 분석의 측정 결과를 보면, 1년생의 잣나무 유엽과 1~3년생의 잎은 700~1,100 nm 범위의 적색부분(NIR : Near infrared ray)과 550 nm의 녹색부분(green)에서 그 차이점이 나타나는 것을 발견할 수 있었다.
2. 1~3년생의 잣나무 잎에서 나타난 광반사율 계수는 모든 분광 분석의 파장에서 일정하게 나타났고, 1년생(current year) 잎이 0.063~0.490으로서 다른 연령의 잎 보다 높게 나타났고, 550 nm(녹색부분)에서 0.175로, 400~500 nm와 600~700 nm의 범위에 비해 반사계수가 높게 나타났다.
3. 各 年齡別 針葉에 대한 光透過率 測定結果는 反射率과 마찬가지로 當年生 잎의 光透過率이 가장 높게 나타나는 결과를 보였으며, 當年生 잎의 測定置는 最

低 0.003에서 最高 0.139로 나타났다. 파장 550 nm 에서는 當年生 잎이 0.030, 1년생이 0.010, 2년생은 0.005, 3년생은 0.002의 순으로 나타났고, 750 nm의 투과율 계수의 측정에서는 當年生(0.130), 1년생(0.110), 2년생(0.080) 그리고 3년생(0.048)의 순으로 측정되었다. 잣나무의 當年生 잎의 경우에는 NIR 영역에서 光透過率 係數가 크게 변화하는 추세를 보였다.

4. 各 林木別, 斜面 位置別 분류된 잎의 透過率 係數를 측정된 결과는 斜面 中部(0.002~0.013), 上部(0.002~0.100) 그리고 斜面 下部(0.002~0.100)의 順으로 나타났다. 그러나 NIR 범위에서는 사면 중부에서 채취된 잎의 변화가 현저하게 나타났다.

5. 경사면의 위치와 잎의 부착 부위별로 분류하여 葉綠素 a와 b, 總葉綠素量(a+b)과 葉綠素 構成比(a/b)의 함량은 상부에서 채취한 잣나무 잎의 葉綠素 a(4.48 mg/g)와 b(1.64 mg/g)가 다른 4개 장소의 잎보다 많았으나, 구성비는 가장 낮게 나타났다.

#### 인용문헌

- Amon, D. I., 1949: Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, **24** (1), 1-15.
- Alexeyev, V. A., 1975: *Light regime of forest*(in Russian). Leningrad. Nauka.
- Gholz, H. L., 1982: Environmental limits on above ground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest. *Ecology*, **63**, 469-481.
- Goward, S. N., 1985: Shortwave infrared detection of vegetation. *Adv. Space. Res.*, **5**(5), 41-50.
- Grier, C. C. and S. W. Running, 1977: Leaf area of mature Northwestern coniferous forests : relation to site water balance. *Ecology*, **58**, 893-899.
- Hiscox, J. D. and G. F. Israelstam, 1979: A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without macer-

- ation. *Can. J. Bot.*, **57**, 1332-1334.
- McLeod, S. D. and S. W. Running, 1988: Comparing site quality indices and productivity in ponderosa pine stands of Western Montana. *Can. J. For. Res.*, **18**, 346-352.
- McNaughton, K. G. and P. J. Jarvis, 1983: Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. In "*Water Deficit and Plant Growth*." T. Kozlowski(Ed.). Vol. 7. Academic Press. London. England. 1-49.
- Omata, T. and N. Murata, 1981: *Method in Photosynthesis Research*. Edited by Katoh *et al.*, Kyoris pub. Co. Tokyo 295-297.
- Smith, W. K. and T. M. Hincley, 1995: *Ecophysiology of Coniferous Forests*. Academic Press, pp338.
- Williams. D. L., 1991: A comparison of spectral reflectance properties at the needle, branch and canopy level for selected conifer species. *Remote Sens. Environ.* **35**, 79-93.