

## P-V 曲線法에 의한 잣나무葉의 水分 特性에 關한 研究

韓相燮·沈朱錫

江原大學校 林科大學 林學科

### Characteristics of Water Relations Parameters Obtained from Pressure-Volume Curves in *Pinus koraiensis* Needles

Han, Sang-Sup and Joo-Suk Sim

Dept. of Forestry, College of Forestry, Kangweon National University

#### ABSTRACT

This study is to investigate the change of the seasonal patterns of relative water relations parameters by the pressure-volume curves in *Pinus koraiensis* needles. The osmotic potentials at full water saturated ( $\Psi_{o,sat}$ ) and at incipient plasmolysis ( $\Psi_{o,tlp}$ ) increased in growing season, while decreased in non-growing season. The maximum bulk modulus of elasticity ( $E_{max}$ ), relative water content ( $RWC_{tlp}$ ), and relative free water content ( $FWC_{tlp}$ ) at incipient plasmolysis in non-growing season were higher than these of growing season. The maximum pressure potential ( $\Psi_{p,max}$ ) varied from 1.16 to 2.18 MPa, turgor index (TI) varied from 3.1 to 4.7. The osmole number ( $N_s/DW$ ) and symplastic water ( $V_o/DW$ ) were variable seasonally. The maximum water content ( $V_t/DW$ ) and apoplastic water (AW) were relatively high in early growing stage, and then decreased to needle aging. The pressure potential ( $\Psi_p$ ) and water potential ( $\Psi$ ) in winter needles were rapidly decreased with decreasing of relative water content. The matric potential occupied over 10 percent of water potential with less than  $-2.0$  MPa.

#### 緒 論

보통 잣나무가造林되는 立地環境을 살펴 볼 때 乾燥한 南斜면의 立地에서부터 비교적 水分條件이 良好한 北斜면이나 斜面下部까지 폭넓게 植栽되고 있다. 그러나 植栽環境과 잣나무의 生長과의 關係를 관찰해 볼 때 乾燥한 斜面에서 보다는 적절히 濕潤한 立地에서 生長이 좋은게 일반적 경향이다(姜과 韓, 1987). 이러한 生長差異는 잣나무가 갖는 耐乾性에 대한 高유의 水分特性에서 온 結果라고 추측된다.

耐乾性を 의미하는 葉의 水分特性으로서 葉이 水分缺差를 일으켰을 때 水分포텐셜이 急速

\*本 研究은 1990年度 韓國學術振興財團의 自由公募課題 學術研究 助成費의 支援에 의해 이루어졌음.

히 저하하여 吸水能을 높여주고, 매우 낮은 水分포텐셜까지 膨壓을 維持하며, 細胞膜의 彈性係數가 크기 때문에 높은 壓포텐셜을 維持하여 葉의 氣孔閉鎖가 잘 일어나지 않고, 높은 光合成速度를 維持할 수 있는 特性을 가지고 있어야 한다.

그리고 原形質 分離點에 있어서 滲透포텐셜이 매우 낮고, 葉이 乾性으로 硬膜細胞가 많이 발달하여 높은 相對含水率에서 原形質分離가 일어나는 樹種이어야 한다(韓, 1991; 丸山·森川, 1983; 矢幡, 1978).

이러한 耐乾性에 관계되는 葉의 水分特性因子를 쉽게 측정할 수 있는 方法은 최초로 Scholander 등(1964, 1965)이 pressure chamber를 考案 사용하면서 부터 시작되었고, 그 후 Tyree와 Hammel(1972)이 理論的 檢討를 첨가시켜 발전시킨 P-V 曲線法(pressure-volume curve)은 葉에 대한 여러 가지 含水率의 變化에 따른 水分포텐셜, 滲透포텐셜, 壓포텐셜, 細胞膜의 彈性係數 등을 용이하게 計測할 수 있는 매우 有用한 方法이다.

특히 P-V 曲線法에 의해 測定한 葉의 水分特性因子중 最大飽水時의 滲透포텐셜, 初期原形質 分離點의 滲透포텐셜과 相對含水率, 細胞膜의 最大彈性係數 등은 樹種間 혹은 品種間의 耐乾性 診斷(Cheung 등, 1975; 韓과 金, 1980; 韓 등, 1985; Han과 Choi, 1986; 韓, 1991; 矢幡, 1978, 1986; 水永, 1988; 丸山·森川, 1983, 1984; Parker 등, 1982; Monson과 Smith, 1982), 그리고 耐凍性 診斷(丸山 등, 1988; 丸山와 森川, 1989; 池田와 紺野, 1990)에 널리 이용되고 있다. P-V 曲線法에 의해 測定한 葉의 水分特性因子는 葉齡에 따라 매우 심하게 變化하기 때문에 月別로 葉의 成熟에 따라 測定할 필요가 있다.

본 研究에서는 乾燥地와 濕潤地에 관계없이 植栽되고 있는 잣나무에 대하여 耐乾性과 耐凍性에 관계되는 葉의 水分特性을 밝히기 위하여 P-V 曲線法을 適用하여 葉의 여러가지 水分特性因子의 月變化를 測定 考察하였다.

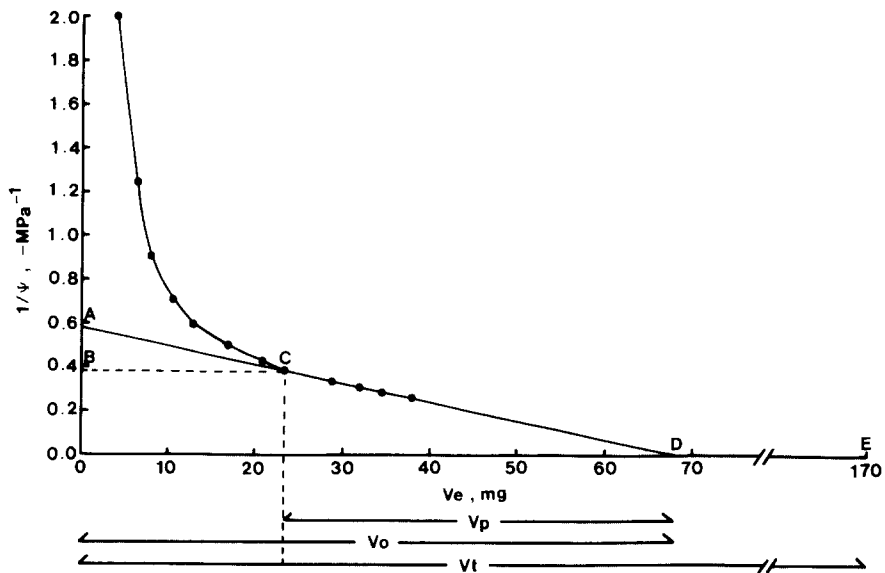
## 材料 및 方法

Scholander 등(1964, 1965)이 고안한 pressure chamber 法에 의해 葉 또는 어린싹(shoot)의 水分포텐셜 測定이 매우 간단해졌으며, 그후 Tyree 와 Hammel(1972)은 理論과 實驗을 통해 더욱 발전시킨 P-V 曲線法(pressure volume curve technique)을 제안했다. P-V 曲線法은 葉이나 어린싹의 生細胞群內의 含水率, 水分포텐셜, 滲透포텐셜, 壓포텐셜 등의 상호관계 등 水分特性因子의 計測을 용이하게 할 수 있는 方法으로 이 方法에서는 試料의 浸出水量( $V_e$ )과 壓力의 逆數( $1/P$ )와의 관계가 Fig. 1과 같이 작성되며, 본 實驗에서는 이와 같은 方法에 의해 잣나무葉의 여러가지 水分特性 因子를 測定했다.

試料는 江原大學校 構內 苗圃場에 植栽되어 있는 7年生 잣나무의 葉을 사용하였다. 植栽地는 磨砂土로서 排水가 잘 되는 약간 乾燥土壤이며, 이 地域은 最近 10年間의 年平均氣溫이 10.6 °C, 年平均降水量이 1,334 mm 이다.

試料葉은 光을 잘 받고 있는 南東方面의 가지를 약 30~50 cm 되게 切斷한 후, 이것을 실험실의 暗室에 옮겨 약 10시간 정도 충분히 飽水시킨 다음 한 개의 葉束(5葉) 만을 pressure chamber 의 試料로 사용하였다. 한 개의 葉束을 試料로 사용할 경우는 잣나무의 小枝葉(shoot)을 試料로 사용할 때 切斷面에서 浸出되는 樹脂(resin)를 最少로 줄일 수 있는 方法이라 생각된다.

Pressure chamber 의 各 壓力段階에 있어서 葉으로부터의 浸出水量을 測定하기 위하여 吸濕紙를 vinyl tube (내경 3 mm, 길이 5 cm) 속에 넣어 이것을 試料의 切斷面에 접촉시켜 吸水시킨 후 그 무게의 增加를 浸出이 끝날 때까지 10분 간격으로 測定하였다. Pressure chamber 內의 壓力은 O<sub>2</sub>가스를 사용하였으며, 浸出量의 測定은 最初 2 bar에서 시작하여 3 bar씩 增壓하면서 最大 41 bar까지 各 壓力段階別로 測定하였다. 各 試料의 測定은 立木으로부터 切取後 24時間 以內에 완료하였으며, 測定 後 80 °C로 48時間 乾燥後 乾物重을 測定하였다. 葉의 水分特性因子의 季節變化를 알기 위하여 1990年 6月 부터 1991年 8月까지 當年葉과 1年生葉에 대하여 測定을 行하였다. Fig. 1 과 같은 P-V 曲線法을 적용하여 月別로 測定하였으며, P-V 曲線法은 비교적 再現性이 높기 때문에 反復測定은 2回만 실시하였다.



**Fig. 1.** The pressure-volume curve on *Pinus koraiensis* current needles in September 2, 1990.

A is the inverse of the osmotic potential at full turgor,  $\Psi_{o,sat}$ ; B is the inverse of the osmotic potential at incipient plasmolysis,  $\Psi_{o,tlp}$ ; C is the relative water content at incipient plasmolysis; D is the original symplastic water volume,  $V_o$ ; E is the total water volume,  $V_t$ ,  $1/\Psi$  is the inverse of water potential;  $V_e$  is the expressed water volume;  $V_p$  is the symplastic water volume remaining in the tissue at incipient plasmolysis; free water content (FWC) =  $(V_o - V_e) / V_o$ ; relative water content (RWC) =  $(V_t - V_e) / V_t$

月別 葉의 生細胞群의 滲透포텐셜, 壓포텐셜, 初期原形質分離點의 滲透포텐셜, 最大飽水時의 滲透포텐셜, 水分포텐셜, 細胞膜의 體積彈性係數, 溶質의 osmole數, 여러가지 相對含水率, 그리고 symplastic water 와 apoplastic water의 比率등 各種 水分特性因子들의 測定은 주로 Tyree 와 Hammel(1972)의 理論을 適用시켜 求했으며, 그밖의 水分特性因子의 計測에 對한 問題點은 Cheung 등(1975, 1976), Hellkvist 등(1974), Tyree 등(1978), 韓(1991), 丸山·森川(1983), 矢幡(1986) 등의 方法을 참고로 하여 測定 計算하였다.

## 結果 및 考察

Fig. 1과 같이 P-V 曲線法에 의해 구한 잣나무葉의 最大飽水時의 滲透포텐셜,  $\Psi_{o,sat}$ 와 初期原形質分離點의 滲透포텐셜,  $\Psi_{o,tlp}$ 를 Fig. 2에 나타냈다. 보통 葉齡이 증가하거나 葉細胞가 老化되어 細胞膜의 硬化가 일어나면 滲透調節機能이 變化되기 때문에 季節에 따라 滲透포텐셜은 變化한다(Cheung 등, 1975; Han과 Choi, 1986; Doi 등, 1986; Roberts 등, 1980). 특히 P-V 曲線法에 의한 耐乾性 檢定에 있어서 耐乾성이 강한 樹種이란 葉이 낮은 滲透포텐셜(마이너스 값이므로)을 갖고 있어 水分缺差時에 吸水力이 크고, 매우 낮은 水分포텐셜에서 原形質分離가 일어나고, 水分減少에 따른 급속한 水分포텐셜의 減少가 일어나 相對含水率이 비교적 높을때 原形質分離가 발생되는 種이라고 한다. 또 耐乾성이 강한 樹種의 葉의 水分特性은 水分포텐셜이 低下해도 높은 膨壓을 維持, 氣孔閉鎖가 쉽게 일어나지 않아 높은 光合成速度를 維持하는 條件을 구비해야 한다. 이러한 條件은 膨壓을 잃어 버릴 때의 滲透포텐셜의 크기에 관계가 깊다(韓, 1991; 丸山·森川, 1983, 1984; Monson과 Smith, 1982; 矢幡, 1978, 1986). 이에 반해 耐乾성이 弱한 樹種의 葉의 水分特性은 滲透포텐셜이 높고, 비교적 높은 水分포텐셜에서 原形質分離가 발생하고, 水分含量의 低下에 따른 워터포텐셜의 減少가 천천히 일어난다(韓, 1991; 丸山·森川, 1983, 1984; Parker 등, 1982).

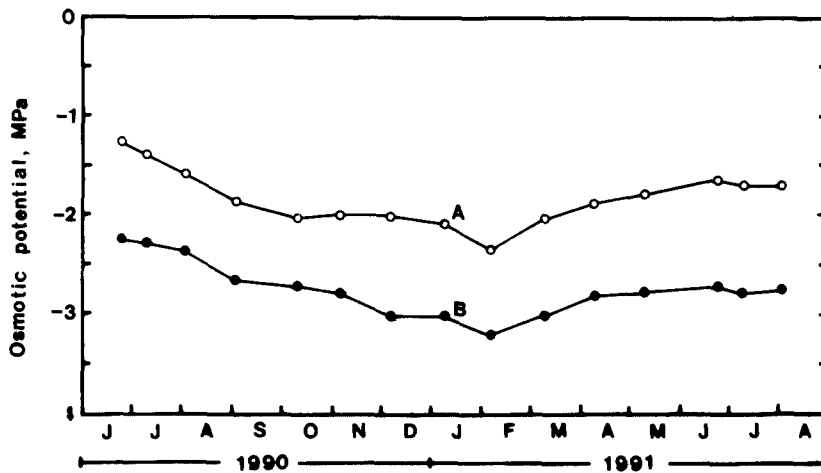


Fig. 2. Seasonal patterns of osmotic potential at full saturation ( $\Psi_{o,sat}$ ), A, and osmotic potential at turgor loss point ( $\Psi_{o,tlp}$ ), B.

잣나무葉의 最大飽水時의 滲透포텐셜,  $\Psi_{o,sat}$ 의 特性은 開葉後 약 1개월 후인 6월에  $-1.28$  MPa로 最大值를 나타내고, 그 후 葉齡增加에 따라 점차 減少하여 冬期인 2월에  $-2.35$  MPa로 最小値에 달한 후 다시 增加를 나타냈다. 따라서 잣나무葉은 葉齡이 增加함에 따라 耐乾성이 增加되며, 특히 冬期에 耐乾성이 最大에 달하는 것을 알 수 있다.

$\Psi_{o,sat}$ 의 年間 最大值와 最小値의 差는  $-1.07$  MPa 였다. 또 初期原形質分離點에 있어서 滲透

포텐셜,  $\Psi_{o,tlp}$ 도  $\Psi_{o,sat}$ 와 비슷한 季節變動을 보여 6월에 最大值인  $-2.26$  MPa, 2월에 最小值  $-3.21$  MPa를 나타냈으며, 그 차는  $-0.95$  MPa 였다. 잣나무葉의  $\Psi_{o,sat}$ 와  $\Psi_{o,tlp}$  값은 生長活動期인 여름에 높고, 非生長期인 겨울에 낮은 값을 나타냈다. 이와 같은 季節變動의 現象은 삼나무葉에서도 마찬가지로 나타났다(Doi 등, 1986). 특히 嚴冬期에 있어서  $\Psi_{o,sat}$ 와  $\Psi_{o,tlp}$  값이 극히 低下하는 現象은 土壤水의 結冰으로 인해 뿌리로부터 水分供給이 中斷되고, 葉組織의 凍結로 인해 滲透調節機能이 멈춘 상태에서 強度의 脫水作用(冬期에도 葉表面에 光線이 비치면 蒸散作用에 의해 조금씩 水分損失을 받음)이 일어나 乾性葉 상태로 겨울을 나기 때문에 일어난다(池田·紺野, 1990; 酒井, 1982). 보통 冬季 또는 低溫下에 있는 植物은 澱粉, 可溶性 糖類, 아미노酸 등의 含量이 증가하며(Kim과 Glerum, 1988; O'Neil, 1983; Pollock과 Lloyd, 1987; Rada 등, 1985), 滲透포텐셜이 低下된다(丸山 등, 1988; O'Neil, 1983; Doi 등, 1986). 따라서  $\Psi_{o,sat}$ 와  $\Psi_{o,tlp}$  값이 극히 낮은 樹種은 耐凍性이 強하다고 한다(池田·紺野, 1990; 丸山 등, 1988). 全生育期에 있어서 잣나무葉의  $\Psi_{o,sat}$ 와  $\Psi_{o,tlp}$  값은 삼나무葉(Doi 등, 1986)과 잣나무葉(丸山·森川, 1984) 보다 낮았다. 이와 같은 결과에서 잣나무葉은 耐凍性이 強한 水分特性을 갖는 樹種이라 할 수 있으며, 실제로 기온이 비교적 낮은 亞寒帶에 주로 天然分布하고 있다.

한편, 最大壓포텐셜  $\Psi_{p,max}$ , 膨潤指數 TI(turgor index), 細胞膜의 體積彈性係數  $E_{max}$ (이하 彈性係數라고 함) 등의 季節變化를 Fig. 3에 나타냈다.

여기서 turgor index(TI)란 Roberts 등(1980)이 정의한 바와 같이 葉의 最大飽水時부터 初期 原形質分離가 일어날 때까지의 各 壓力段階에서 測定한 壓포텐셜의 合計를 最大飽水時的 滲透

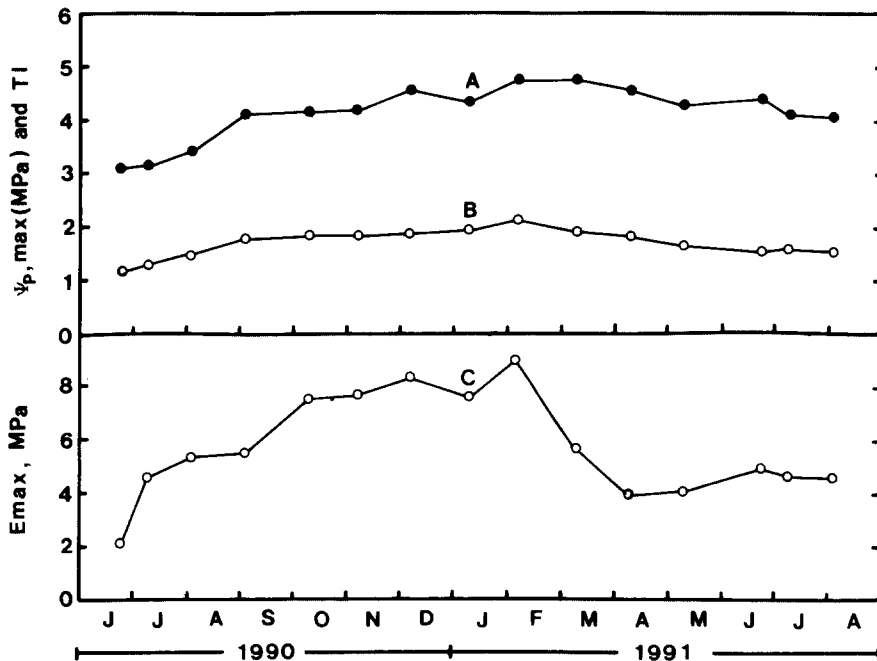


Fig. 3. Seasonal patterns of turgor index(TI), A, maximum pressure potential( $\Psi_p$ ), B, and maximum bulk modulus of elasticity( $E_{max}$ ), C.

포텐셜로 나는 絶對值를 意味한다.

樹種間에는 TI 값이 작은 것이 耐乾性이 더 크며, 비교적 耐乾性이 약한 *Cornus florida*는 5~10월에 8정도의 값을 가지며, 耐乾性이 강한 *Ilex opaca*는 2~4정도의 값을 갖는다(Roberts 등, 1980). 잣나무는 開葉後 1개월 경과된 葉에서 가장 낮고, 그 후는 4.1~4.7정도의 범위였다(Fig. 3). TI값으로 판단할 때 잣나무葉은 中間 정도의 耐乾性을 갖는 樹種이라 할 수 있다.

잣나무葉의 最大壓포텐셜의 값은 開葉初에 1.16 MPa로 가장 낮고, 그 후 약간씩 增加하여 2월에 最大值(2.18 MPa)에 달하고, 그 후 다시 減少하는 경향을 나타냈다.

生細胞膜의 最大彈性係數  $E_{max}$ 는 開葉初期에 2.13 MPa로 가장 낮고, 그 후 증가를 나타내 非生長期인 2월에 最大值(9.01 MPa)에 달한 후, 다시 生長期인 4월에 급격한 減少現象을 나타냈다.  $E_{max}$ 값이 커지면 耐乾性과 耐凍性이 增加한다(Parker 등, 1982; 韓, 1991; 矢幡, 1986; 丸山 등, 1988). 잣나무葉은 非生長期인 10월부터 2월에  $E_{max}$ 가 높게 나타나 이 期間 동안 耐乾性과 耐凍性이 커진다는 것을 알 수 있다. 落葉樹인 sugar maple에 있어  $E_{max}$  값은 開葉初에 극히 낮고, 그 후 급격한 增加를 나타내 7월에 最大值에 달한 후, 다시 落葉期에 달한 老齡葉에서는 減少한다(Tyree 등, 1978). 또 初期原形質分離點에 있어서 相對含水率,  $RWC_{tip} = (V_t - V_e) / V_t$ 와 相對自由水分率  $FWC_{tip} = (V_o - V_e) / V_o$ 의 季節變動 값, 그리고 乾物重에 대한 細胞溶質의 Osmole數와 自由水分量, 즉 symplastic water의 季節變動 등을 Fig. 4에 나타냈다. 잣나무葉의  $RWC_{tip}$  값의 季節變動은 開葉初期에 가장 낮고, 그 후 점차 增加하여 10월에 最大值에 달한 후, 다시 葉齡增加에 따라 減少를 나타냈다.  $FWC_{tip}$  값도 開葉初期인 6월에 가장 낮고, 그 후 變動

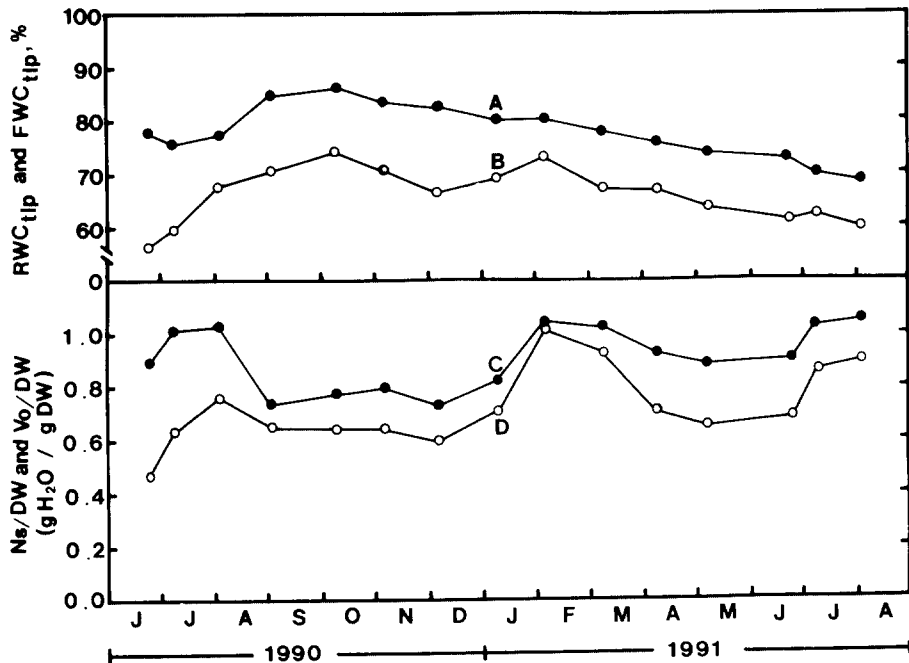


Fig 4. Seasonal patterns of relative water content( $RWC_{tip}$ ), A, relative free water content at turgor loss point( $FWC_{tip}$ ), B, symplastic water volume per dry weight( $V_o/DW$ ), C, and osmole number per dry weight( $N_s/DW$ ), D.

幅이 심하나 대체적으로 非生長期인 늦가을부터 초봄까지 높고, 生長旺盛期에는 다소 낮은 값을 나타냈다. 여기서  $FWC_{tip}$ 는  $V_p/V_o$ 의 값으로 80% 이상인 葉은 비교적 細胞膜의 水分調節機能 (osmoregulation)이 뛰어나며(Cheung 등, 1975), 큰 값을 갖는 種이 耐乾性이 크다(Parker 등, 1982; 水永, 1988; 韓, 1991). 잣나무의  $FWC_{tip}$  값은 測定季節동안 56~75%를 나타내, 비교적 낮은 값을 갖는 樹種임을 알 수 있었다.

또 水分缺差時 細胞膜을 자유로이 浸透할 수 있는 水分, 즉 symplastic water,  $V_o/DW$  값의 季節變動은 開葉後 7~8월에 높고, 그 후 減少하다가 增加하여 冬期인 2월에 最高值에 달한 후, 다시 減少하는 경향을 나타냈다.

葉이 成熟해져 乾物重이 증가하면 相對水分含量이 낮아져서  $N_s/DW$ 와  $V_o/DW$  값이 작아진다(Parker 등, 1982; Tyree 등, 1978). 잣나무葉의 開葉初期에  $N_s/DW$  값이 낮은 원인은  $N_s = \Psi_{o,sat} V_o / RT$  식으로  $N_s$ 를 算出할 때 開葉初期의  $\Psi_{o,sat}$ 의 값이 매우 낮은 값(1.28 MPa)을 나타내기 때문이며, 2월에 특히 높은 이유는  $\Psi_{o,sat}$  값이 큰 값(2.35 MPa)을 나타냈기 때문이라고 사료된다.

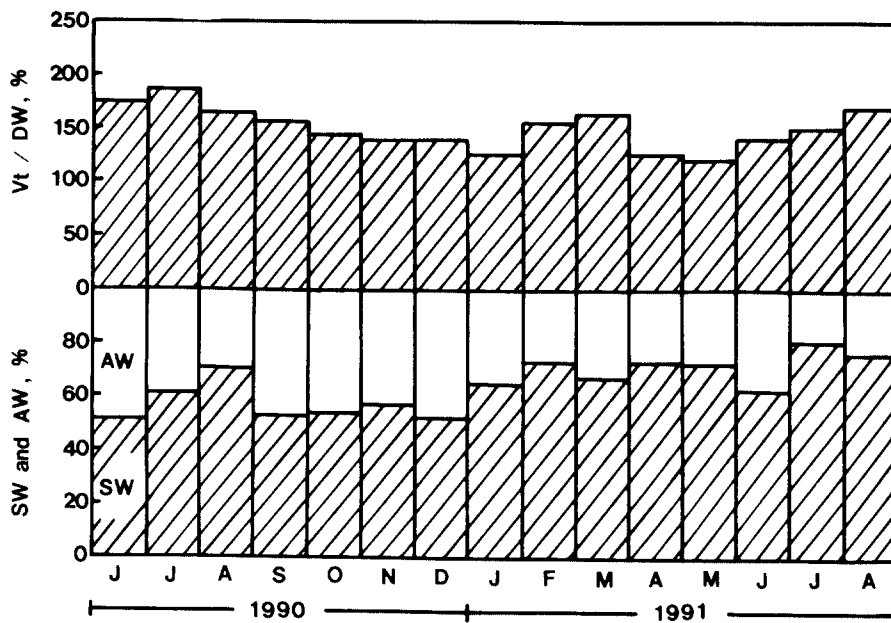


Fig. 5. Seasonal patterns of relative water volume of total water per dry weight ( $V_t/DW$ ), symplastic water ( $SW = V_o/V_t$ ), and apoplastic water ( $AW = V_a/V_t$ ,  $V_a = V_t - V_o$ )

葉의 全水分量  $V_t$ 에서 細胞膜을 자유로이 移動할 수 있는 自由水分인 symplastic water (SW),  $V_o$ 를 제외한 水分을 apoplastic water (AW),  $V_a$ 라고 한다. 즉  $V_a = V_t - V_o$  이다. 이들 水分量은 試料의 크기에 따라 다르기 때문에 相對值로 나타내는 것이 타당하다. Fig. 5에 全水分量에 대한 相對值인  $SW = V_o/V_t$ 와  $AW = V_a/V_t$ , 그리고 葉乾物重量에 대한 全水分量  $V_t/DW$ 의 季節變動을 나타냈다. SW는 葉의 生長初期에 비교적 낮았으며, 葉齡이 증가하면서 높은 값

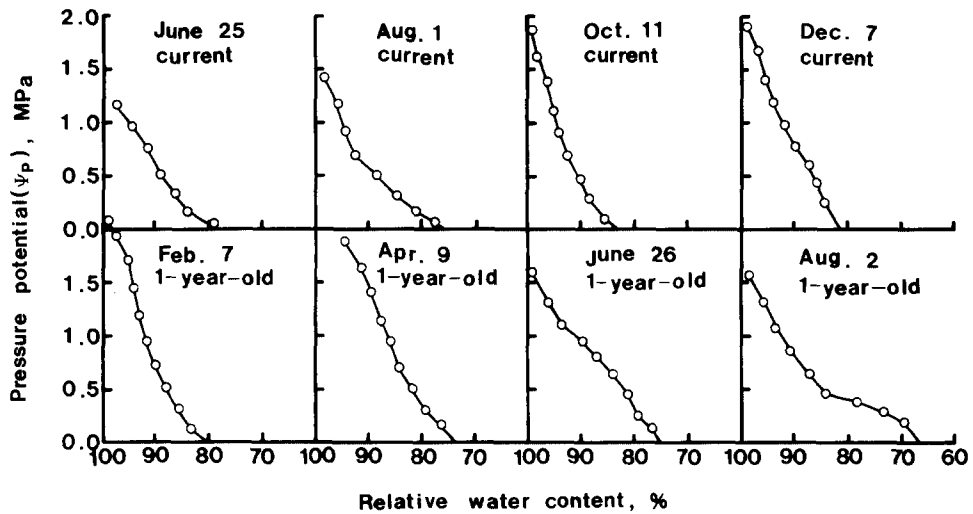


Fig. 6. Seasonal patterns of pressure potential( $\Psi_p$ ) to relative water content [ $RWC=(V_t-V_e)/V_t$ ].

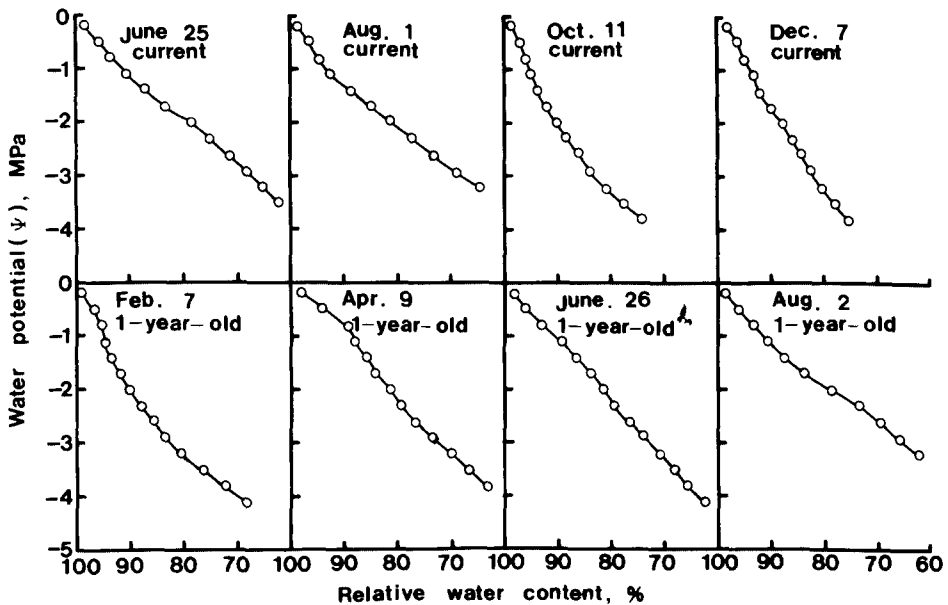


Fig. 7. Seasonal patterns of water potential( $\Psi$ ) to relative water content [ $RWC=(V_t-V_e)/V_t$ ].

을 나타내, AW가 葉齡增加에 따라 다소 減少한다는 것을 알 수 있었다. 矢幡(1986)에 따르면 삼나무葉의 AW 값은 平均 14.2%이었다. 全測定期間 동안 SW의 平均은 63.3%, AW의 平均은



36.7% 였다.  $V_t/DW$  값은 開葉初期인 6, 7월에 약간 높았으며, 全測定期間 동안의 平均은 148% 였다. 이 값은 삼나무葉의  $V_t/DW$  값 202~291%(矢幡, 1986)보다 현저히 낮았다.

植物은 膨壓을 維持하기 위하여 滲透調節(osmotic adjustment)을 행한다. 그리고 乾燥에 저항하기 위하여 높은 膨壓을 維持하려고 한다. Fig. 6에 葉의 相對含水率 減少에 따른 壓포텐셜의 減少를 나타냈다. 10월, 12월, 2월葉에서 水分減少에 따라 급격한 壓포텐셜의 減少를 나타내, 비교적 높은 相對含水率에서 壓포텐셜이 0으로 된다. 이와는 대조적으로 開葉初期의 葉이나 다음해 4, 6, 8월의 葉에서는 水分減少에 따라 완만한 壓포텐셜의 減少를 나타냈다. 보통 耐乾性이 강한 樹種은 相對含水率의 減少에 따라 급속한 壓포텐셜의 減少가 일어나 높은 相對含水率에서 壓포텐셜이 0으로 된다(丸山·森川, 1983; 韓, 1991). 따라서 잣나무는 冬期인 10~2월葉에서 耐乾性이 強해짐을 알 수 있다.

또 葉의 相對含水率 減少에 따른 水分포텐셜의 減少를 Fig. 7에 나타냈다.

開葉初期의 葉과, 다음해 4, 6, 8월葉에서는 水分減少에 따라 완만한 水分포텐셜의 減少를 나타내는데 반하여, 10월, 12월, 2월葉에서는 水分減少에 따라 급격한 減少를 나타냈다. 보통 耐乾性이 높은 樹種에서는 葉의 相對含水率의 低下에 따라 급속히 水分포텐셜이 低下하므로 滲透調節機能이 좋고, 吸水能이 좋아져 상당히 낮은 水分포텐셜까지 壓포텐셜을 維持한다. 그리고 높은 相對含水率에서 膨壓을 잃는다. 이러한 意味에서 考察할 때 잣나무葉은 非生長期인 10월부터 2월까지 耐乾性이 增加한다는 것을 알 수 있다.

한편, 植物의 水分포텐셜은  $\Psi = \Psi_o + \Psi_p + \Psi_m$  식을 의미하나, 일반적으로  $\Psi_m$ (matric potential) 값은 현저히 작아지기 때문에 무시하는 경우가 많다. 그러나  $\Psi_m$  값의 크기는 樹種에 따라 현저히 다르며, 어떤 樹種에서는 상당히 큰 값을 갖는 경우도 있다(Roberts 등, 1980; Hellkvist 등, 1984). 또  $\Psi_m$ 은 apoplastic water의 含量과 相對含水量에 따라 크게 변화된다고 한다. Hellkvist 등(1974)는 P-V 曲線法에서  $\Psi_m$ 의 計測을 다음과 같은 식으로 나타냈다.

$$\Psi_m = \Psi_{o,sat} \frac{B(1-R)}{R(R-B)}$$

여기서  $\Psi_{o,sat}$ 는 最大飽水時의 滲透포텐셜, B는 apoplastic water(또는 bound water)로  $B = (V_t - V_o) / V_t$ , R은 相對含水率로  $R = (V_t - V_e) / V_t$  이다. 이 식에 의해 葉의 相對含水率 또는 水分포텐셜의 변화에 따른  $\Psi_m$  값의 변화를 쉽게 計測할 수 있으며,  $\Psi_m$ 는 相對含水率의 減少와 apoplastic water의 增加 및  $\Psi_{o,sat}$ 의 增加에 따라 減少(마이너스 값이므로)된다는 것을 의미한다. 또 葉은 相對含水率이 減少되면 水分포텐셜이 減少하므로  $\Psi_m$ 도 水分포텐셜의 減少와 함께 減少한다.

Fig. 8에  $\Psi_m$ 과 水分포텐셜과의 관계를 나타냈다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 水分포텐셜이 減少하면  $\Psi_m$ 도 減少하며, 특히 初期原形質分離點 이하의 水分포텐셜에서는 급격한 減少를 나타냈다. 잣나무葉의 경우 自然狀態에서 日中 심한 水缺差를 받을 때인 -2.0 MPa 정도의 水分포텐셜에서 매트릭 포텐셜이 차지하는 비율은 冬期인 2월을 제외하고는 -0.2~-0.4 MPa로 10%를 上廻하는 것으로 나타났다. 이와 같이 잣나무葉에서  $\Psi_m$ 이 水分포텐셜 값 중 차지하는 비율이 크게 나타난 것은 비교적 apoplastic water의 含量이 많은데(Fig. 5) 기인한 것으로 사료된다. 특히 2월 葉에서  $\Psi_m$ 가 크게(마이너스 값) 나타난 것은 apoplastic water의 含量이 작고, 水分포텐셜의 급격한 減少에도 불구하고 相對含水率이 相對적으로 높은 값을 유지하는데서 기인한 것으로

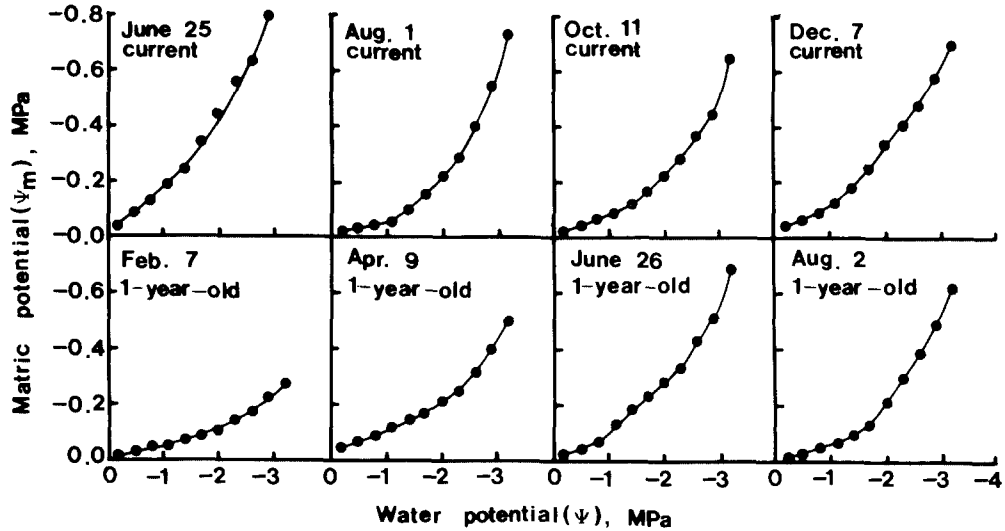


Fig. 8. Seasonal patterns of matric potential ( $\Psi_m$ ) to leaf water potential ( $\Psi$ ).

로 생각된다. Hellkvist 등(1974)에 따르면 Sitka spruce의 1월 葉에서는 初期原形質分離點의  $\Psi_m$ 이 약  $-0.6$  MPa 였다. 따라서 잣나무 葉과 같은 針葉樹의 경우 水分포텐셜을 計測할 때 matric potential이 차지하는 비율은 무시할 수 없을 정도로 크다는 것을 알 수 있다.

## 要 約

P-V 曲線法을 適用하여 잣나무 葉의 水分特性因子的 季節變化를 測定하였다. 最大飽水時의 滲透포텐셜( $\Psi_{o,sar}$ )과 初期原形質分離點의 滲透포텐셜( $\Psi_{o,tip}$ )은 生長期에 增加하고, 非生長期에 減少하였다. 細胞膜의 最大彈性係數( $E_{max}$ ) 및 初期原形質分離點의 相對含水率( $RWC_{tip}$ )과 相對自由水分率( $FWC_{tip}$ )은 生長期에 낮고 非生長期에 높았다. 最大壓포텐셜( $\Psi_{p,max}$ )은  $1.16 \sim 2.18$  MPa, 膨潤指數(TI)는  $3.1 \sim 4.7$ 까지의 季節變動을 나타냈다. Osmole數( $N_s/DW$ )와 symplastic water( $V_o/DW$ )는 季節變動이 심했으며, 最大飽水時의 含水率( $V_t/DW$ )과 apoplastic water(AW)는 生育初期에 높고 葉齡 增加에 따라 약간 減少하였다. 冬期 葉에서는 相對含水率의 減少에 따라 壓포텐셜( $\Psi_p$ )과 水分포텐셜( $\Psi$ )이 急減現象을 나타냈다. 특히, 낮은 水分포텐셜( $-2.0$  MPa 이하)에서 matric potential이 차지하는 比率은 水分포텐셜 값의 10% 이상 이었다.

## 引用文獻

- Cheung, Y.N.S., M.T. Tyree, and J. Dainty. 1975. Water relations parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations. *Can. J. Bot.* 53:1342-1346.

- Cheung, Y.N.S., M.T. Tyree, and J. Dainty. 1976. Some possible sources of error in determining bulk elastic moduli and other parameters from pressure-volume curves of shoot and leaves.
- Doi, K.Y. Morikawa, and T.M. Hinckley. 1986. Seasonal trends of several water relation parameters in *Cryptomeria japonica* seedlings. Can. J. For. Res. 16:74-77.
- 韓相燮·金光崙. 1980. 樹木の水分特性에 관한 生理. 生態學的 解析 (I). -Pressure chamber technique에 의한 耐乾性 樹種의 診斷- 韓林誌 50:25-28.
- 韓相燮·全斗植·崔興善. 1985. 樹木の耐乾性에 관한 研究. 江原大 演習林報告 5:3-7.
- Han, S.S. and H.S. Choi. 1986. Ecophysiological interpretations on the water relations parameters of trees(V). Seasonal changes in tissue-water relations on the *Quercus* × *grosseserrata* and *Quercus acutissima* leaves. J. Kor. For. Soc. 72:37-44.
- 韓相燮. 1991. 樹木の水分特性에 관한 生理 生態學的 解析(VI). P-V 曲線法에 의한 闊葉樹 20 種의 耐乾性 診斷. 韓林誌 80:210-219.
- Hellkvist, J., G.P. Richards, and P.G. Jarvis. 1974. Vertical gradients of water potential and tissue water relations in Sitka spruce trees measured with the pressure chamber. J. Appl. Ecol. 11:637-667.
- 池田武文. 紺野康夫. 1990. 北海道の嚴冬期におけるニオイヒバの葉の水分特性と生育環境の關係. 日林誌 72:154-157.
- 姜信天·韓相燮. 1987. 잣나무와 현사시 造林地의 斜面環境이 直徑生長과 樹高生長에 미치는 影響. 江原大 演習林研究報告 7:55-64.
- Kim, Y.T., and C. Glerum. 1988. Free amino acid concentration in red pine needles during three successive autumns. Can. J. For. Res. 18:1286-1290.
- 丸山溫·森川靖. 1983. 葉の水分特性の檢定 -P-V 曲線法- 日林誌 65:23-28.
- 丸山溫·森川靖. 1984. ミズナラ, タケカンバ, ウラジロモミの葉の水分特性の季節變動. 日林誌 66:499-505.
- 丸山溫·森川靖. 1989. スギの耐凍性の早期檢定法の開發. 林木の育種 151:1-4.
- 丸山溫·森川靖·細具浩·金川侃·堀内孝雄. 1988. 初冬におけるスギ耐凍性選抜木の葉の水分特性. 日林誌 70:518-524.
- 水永博己. 1988. P-V曲線法を用いたヒノキの耐乾性檢定. 日林誌 70:362-366.
- Monson, R. K. and S.D. Smith. 1982. Seasonal water potential components of Sonoran Desert plants. Ecol. 63:113-123.
- O'Neil, S.D. 1983. Osmotic adjustment and the development of freezing resistance in *Fragaria virginiana*. Plant Physiol. 72:938-944.
- Parker, W.C., S.G. Pallardy, T.M. Hinckley, and R.O. Tesky. 1982. Seasonal changes in tissue water relations of three woody species of the *Quercus-Carya* forest type. Ecol. 63:1259-1267.
- Pollock, C.J. and E.J. Lloyd. 1987. The effect of low temperature upon starch, sucrose and fructan synthesis in leaves. Annu. Bot. 60:231-235.
- Rada, F., G. Goldstein, A. Azocar, and F. Meinzer. 1985. Daily and seasonal osmotic

- changes in a tropical treeline species. *J. Exp. Bot.* 36: 989-1000.
- Roberts, S.W., B.R. Strain, and K.R. Knorr. 1980. Seasonal patterns of leaf water relations in four co-occurring forest tree species: parameters from pressure-volume curves. *Oecologia* 46:330-337.
- 酒井昭. 1982. 植物の耐凍性と寒冷適應—冬の生理・生態學—469 pp. 學會出版 センター, 東京.
- Scholander, P.F., H.T. Hammel, E.A. Hemmingsen, and E.D. Bradstreet. 1964. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *Proc. N. A. S.* 52:119-125.
- Scholander, P.F., H.T. Hammel, E.D. Bradstreet and E.A. Hemmingsen. 1965. Sap pressure in vascular plants. Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148:339-346.
- Tyree, M. T. and H. T. Hammel. 1972. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. *J. Exp. Bot.* 23:267-282.
- Tyree, M.T., Y.N.S. Cheung, M.E. MacGregor, and A.J.B. Talbot. 1978. The characteristics of seasonal and ontogenetic changes in the tissue-water relations of *Acer*, *Populus*, *Tsuga*, and *Picea*. *Can. J. Bot.* 56:635-647.
- 矢幡久. 1978. スギ在來品種の水分特性(I). プレッシュャ-チャンバによる葉の水分特性の測定法の検討. *日林九支論* 31:115-116
- 矢幡久. 1936. 樹木における水の吸収, 移動, 排出に関する研究. 九州大學 博士學位論文. 134 p.

(1991年 9月 11日 接受)