

## 아까시나무와 산돌배나무의 木部에 있어서 水分移動經路에 따른 色素浸透<sup>1</sup>

全壽京<sup>2</sup> · 韓相燮<sup>3</sup>

### The Dye Penetration into the Xylem of *Robinia pseudoacacia* and *Pyrus ussuriensis* through Water Flow Path<sup>1</sup>

Su Kyoung Chun<sup>2</sup>, Sang Sup Han<sup>3</sup>

#### 要 約

아까시나무와 산돌배나무의 水分移動 經路를 이해하고, 水分移動 經路를 이용한 무늬목을 생산하기 위하여, 染料浸透經路를 0.5% acidic fuchsin 용액과 0.5% fast green 용액을 樹木에 주입시켰다. 環孔材이면서 타이로시스를 갖고있는 아까시나무와 散孔材이면서 木纖維에 많은 壁孔이 존재하는 산돌배나무의 木部構造와 水分移動 經路를 비교했다. 그 결과 아까시나무의 水分通導는 當該年度와 前年度에 형성된 早材部의 大導管에 의해서 주도되었다. 그리고 타이로시스가 導管 內腔을 閉鎖하고 있는 心材와 移行材에는 染料浸透가 되지 않았다. 산돌배나무는 髓를 제외하고 전부위에 염색되었으며, 특히 導管 이외에 木纖維의 壁에 染料의 침착이 이루어졌다.

#### ABSTRACT

To understand water flow path in the cells of *Robinia pseudoacacia* and *Pyrus ussuriensis* and obtain color wood from them, this experiment was performed by penetrating 0.5% acidic fuchsin and 0.5% fast green solution into the living wood of them. A comparison was made of the wood structure and water flow path from *Robinia pseudoacacia* containing the ring-porous wood with tyloses, and *Pyrus ussuriensis* including solitary diffuse-porous wood with distinct fiber pits. The dye penetrated into vessel elements in the early wood of two growth rings from bark in *Robinia pseudoacacia*, but permeated all xylem in *Pyrus ussuriensis*. In *Robinia pseudoacacia*, the vessels of heart wood and intermediate wood were not stained because of tyloses.

Key words : *Robinia pseudoacacia*, *Pyrus ussuriensis*, xylem structure, water flow path, xylem staining.

#### 緒 論

樹木에 있어 水分의 移動은 土壤 - 樹木 - 大氣라고 하는 連續體를 통해 일어난다. 이 經路 중

樹體內的 水分移動에 관한 메카니즘은 細胞組織의 構造와 機能, 그리고 經路에 따라 일반적으로 다르다. 특히, 큰 나무에 있어서 水分移動은 뿌리 - 줄기 - 가지 - 잎으로 이어지는 組織內的 水分 포텐셜의 차이에서 일어난다(Kozlowski 등,

<sup>1</sup> 接受 1992年 9月 4日 Received on September 4, 1992.

<sup>2</sup> 江原大學校 林料大學 林産加工學科, Department of Wood Science and Tech., College of Forestry, Kangweon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>3</sup> 江原大學校 林料大學 林學科, Department of Forestry, College of Forestry, Kangweon National University, Chuncheon 200-701, Korea

1991; Hinckley 등, 1978). 즉, 엽에서 蒸散에 의해 水分을 잃으면 엽의 水分포텐셜이 감소하여 貧壓이 생기고, 그 壓力의 크기만큼 가지나 줄기의 木部組織을 통해 水分을 잡아 당기기 때문에 樹液上昇이 일어난다.

이때, 줄기나 가지의 水分移動에 관계하는 木部組織은 邊材部の 導管(闊葉樹) 또는 假導管(針葉樹)이지만, 이들 導管이나 假導管 전부가 通水機能을 갖는 것은 아니다(森川, 1974; Zimmermann, 1978). 편백나무와 삼나무와 같은 針葉樹에 있어서는 邊材部 全面積을 통해 樹液上昇이 일어나지만(森川, 1974; 矢幡, 1986), 闊葉樹의 環孔材에 있어서는 邊材部 중 最外部 몇개의 年輪層에서만 樹液上昇이 일어난다(Kozlowski와 Kramer, 1991; Zimmerman, 1978). Ellmore와 Ewers(1985)에 따르면 미국 느릅나무(*Ulmus americana*)에서는 줄기의 최외부에 있는 年輪層만이 水分通導 機能을 갖는다. 종종 闊葉樹種의 邊材部에 있어서 늙은 導管細胞는 타이로시스(tyloses) 또는 가스 거품(gas bubble)으로 막히기 때문에 水分通導 機能을 상실한다(Kozlowski와 Kramer, 1991).

또, 줄기의 邊材部 橫斷面에 있어서 樹皮로 부터 깊이별로 樹液流速의 차이를 Heat Pulse 법으로 측정하면, 편백나무에서는 깊이별 차이가 거의 나타나지 않으나(森川, 1974), Douglas-fir(Lassoie 등, 1977)와 낙엽송(韓과 金, 1992)에서는 깊이별로 차이를 나타낸다. 그리고 Heat Pulse 법으로 살아있는 나무 줄기의 樹液流速을 方位별로 측정한 결과, Douglas-fir(Lassoie 등, 1977)와 낙엽송(韓과 金, 1992)에서는 方位별로 樹液流速은 상당한 차이를 나타냈다.

일반적으로 邊材部에 있는 導管 또는 假導管細胞의 크기는 줄기직경(stem diameter)이 클수록 크며, 줄기직경이 작을수록細胞의 크기도 작고細胞數도 많다(Zimmermann, 1978; Ewers와 Zimmermann, 1984). 따라서 줄기의 上部와 가지의 導管 또는 假導管細胞는 줄기 下部의細胞보다 작고,細胞數도 많다. 보통 導管이나 假導管細胞의 內經이 클수록 水分通導性(hydraulic conductivity)이 크기 때문에 줄기의 上部와 가지보다는 줄기의 下部가 水分通導性이 크다고 한다(Zimmermann, 1978; Ewers와 Zimmermann, 1984). 일반적으로 樹液流速의 크기는

Poiseuille의 법칙에 따라 導管 또는 假導管의細胞半徑( $r$ )의 네제곱에 비례 한다고 한다(Nobel, 1991; Zimmermann, 1978).

한편, 큰 나무 줄기의 橫斷面에 있어서 樹液이 흐르는 부분과 上昇하는 길(方向)을 조사하기 위해 色素注入法으로 살아 있는 나무의 木部를 染色한 후 줄기를 切斷해 보면, 通水部分만 染色되어 上昇하는 길을 쉽게 밝힐 수 있다. Rudinsky와 Vite(1959)에 의하면 줄기에서 樹液이 上昇하는 길은 5가지 類型 즉, (1) spiral ascent-turning right, (2) spiral ascent-turning left, (3) interlocked ascent, (4) sectorial winding ascent, (5) sectorial straight ascent로 분류되며, 수종에 따라 이 5가지 방법 중 한가지 형으로 상승한다고 하였다. 그러나 Kozlowski 등(1963)에 의하면 *Populus*屬과 *Betula*屬에 있어서는 同一種內에서도 樹液이 上昇하는 길은 相異하다고 한다. 森川(1974)도 편백나무 11본에 대하여 1%酸性 Fuchsin溶液을 注入시켜 조사해본 결과, 樹液이 上昇하는 方向은 다양하다는 것을 관찰하였다.

이와같이 樹木의 邊材部에 있어서 水分通導性은 導管 또는 假導管細胞의 構造, 크기, 年齡, 위치, 수종에 따라 다양하며, 同一種內에서도 일정하지 않다. 따라서 살아 있는 나무의 줄기에 각종의 染色藥을 注入시켜 아름다운 高品質의 木材를 생산하고자 하는 技術開發에서는 樹種별로 樹液上昇의 경로를 명백히 밝힌다는 것이 매우 중요하다. 지금까지 살아있는 立木에 染料를 注入시켜 邊材部에 있어서 染料의 上昇速度와 浸透經路를 연구한 것은 드물며, 몇 種의 針葉樹(Rudinsky와 Vite, 1959), 포플러와 자작나무(Kozlowski와 Winget, 1963), 단풍나무와 느릅나무(Greenidge, 1958), 편백나무(森川, 1974), 삼나무(矢幡, 1986) 등에 대한 染料의 上昇速度, 浸透經路 그리고 浸透시키는 方法등에 관한 연구가 있다.

본 研究에서는 줄기에 染色藥을 注入시키는 방법에 의해 아까시나무와 산돌배나무 줄기의 樹液 上昇에 관여하는細胞와 관여하지 않는細胞 및 타이로시스의 形成에 대하여 考察하고자 한다.

**材料 및 方法**

**1. 染料溶液 및 浸透方法**

32년생 산돌배나무(*Pyrus ussuriensis*)의 16년생 가지와 28년생 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*)의 7년생 가지를 1991年 8月 11日 본 江原大學構內에서 採取하여, 0.5%의 산성 fuchsin 용액과 0.5%의 fast green 용액에 가지의 元口를 8시간 침적, 樹液上昇法에 의해 木部 組織을 染色시켰다. 이때 가지에 있는 엽과 작은 가지는 원래의 살아 있는 상태로 유지하면서 太陽光線下에서 浸透시켰다.

**2. 顯微鏡觀察用 試片製作**

染料浸透가 완료된 상기 木材의 形成層 부위에서 3斷面 별로 永久 프레파라트를 제작했다. 試片製作할 때 木材試片을 軟化하지 않고, 마이크로톱으로 15-30um의 切片을 만들어 알콜(50%, 70%, 90%, 100%의 알콜에서 2-3분간 浸漬)로 탈수했다. 다시 이 切片을 100% 알콜과 자이렌(xylene)과의 等量混合液에 浸漬시키고 자이렌에 옮긴 다음 각각의 切片을 슬라이드 글라스에 올려 놓고 canada balsam으로 封入했다.

**結果 및 考察**

**1. 木材의 組織의 特徵**

아까시나무는 전형적인 環孔材(Fig. 1, 3)로서 年輪境界가 뚜렷하고(Fig. 1, 3) 晚材部의 小導管은 集合하여 接線方向으로 배열되어 있었으며, 導管에는 單穿孔과 交互狀壁孔 및 對狀壁孔이 나타났다. 早材部 導管은 1-數列로 배열되어 있었으며(Fig. 3), 心邊材의 境界는 뚜렷했고 心材의 材色은 짙은 褐色이었다(Fig. 1). 導管壁의 交互狀壁孔의 크기는 4um 이하이었고, 導管放射組織間壁孔은 導管相互間壁孔과 類似했다. 그리고 晚材部의 小導管에서는 螺旋肥厚를 관찰할 수 있었다. 導管의 接線徑은 100-200um 이었고, 導管의 長이는 350um 이었으며, 導管內에 타이로시스가 발달되어 있었다(Fig. 3). 木纖維의 壁은 두껍고, 壁孔은 관찰되지 않았으며 長이는 900um 이하다. 軸方向柔細胞는 周圍狀柔組織, 連合翼狀柔組織, 帶狀柔組織과 終末狀柔組織이 관찰

되었으며(Fig. 3, 5, 7), 軸方向柔細胞 당 2-4개 혹은 8개 strand가 존재했다(Fig. 5, 7). 放射組織의 長이는 1mm 이상이고 平伏細胞로 구성되어 있었으며(Fig. 3, 5), mm당 放射組織의 數는 4개 이하이었다. 그리고 軸方向柔細胞에서 多室結晶이 관찰되었다.

한편, 산돌배나무는 전형적인 散孔材(Fig. 4)로서 肉眼으로 관찰했을 때 年輪境界가 不明確(Fig. 2)하지만, 顯微鏡으로 관찰하면 明瞭(Fig. 4)하게 나타났다. 그리고 心邊材의 境界는 거의 分辨할 수 없었다(Fig. 2). 산돌배나무는 角이진 孤立管孔(Fig. 4)으로서 單穿孔(Fig. 6, 8)이고 木纖維에 有緣壁孔이 뚜렷하게 존재했다. 放射組織은 1-3列로 구성되어 있고 平伏細胞로 구성되어 있다. 導管의 直徑은 50um 이하이고 mm<sup>2</sup>當 導管의 數는 100개 이상이었다. 導管의 長이는 350-800um이고, 木纖維의 長이는 900-1,600um 이다. 軸方向柔細胞의 배열은 散在狀이었다.

이상의 관찰 결과는 지금까지 조사된 Yamabayashi(1938), Sudo(1956), Wheeler 등(1986), 朴 등(1981, 1987) 및 隼(1990) 등의 연구 결과와 일치했다. 위 두 수종 사이의 木材 조직적인 차이를 살펴보면 아까시나무는 環孔材로서 心邊材의 境界가 명확하고 導管 內腔에 타이로시스가 존재하며, 纖維壁에 壁孔이 나타나지 않는 반면에, 산돌배나무는 散孔材로서 心邊材의 구분이 없고 타이로시스가 존재하지 않으며, 木纖維壁에 有緣壁孔이 뚜렷하게 나타난다. 또한, 아까시나무의 軸方向柔細胞는 周圍狀柔組織, 連合翼狀柔組織 등이 관찰되는 반면에, 산돌배나무에서는 散在柔組織이 관찰되었다.

**2. 타이로시스의 分布**

산돌배나무와 아까시나무의 타이로시스 존재 여부를 관찰한 결과 산돌배나무에서는 관찰되지 않은 반면, 아까시나무에서는 많은 타이로시스가 관찰되었다(Fig. 3, 4). 아까시나무를 관찰했을 때 心材와 移行材에서 全導管의 內腔에서 타이로시스를 관찰할 수 있었으며, 심지어 當該年度에 형성된 導管에서까지 관찰되었다(Fig. 3). 그러나 當該年度에 형성된 導管의 內腔에서는 타이로시스가 완전하게 발달한 것이 간혹 관찰되고 대부분 불완전하게 발달했거나 혹은 導管 內腔을 완전하게 閉鎖한 것이 거의 관찰되지 않았다

(Fig. 3).

### 3. 染料의 浸透經路와 타이로시스와의 關係

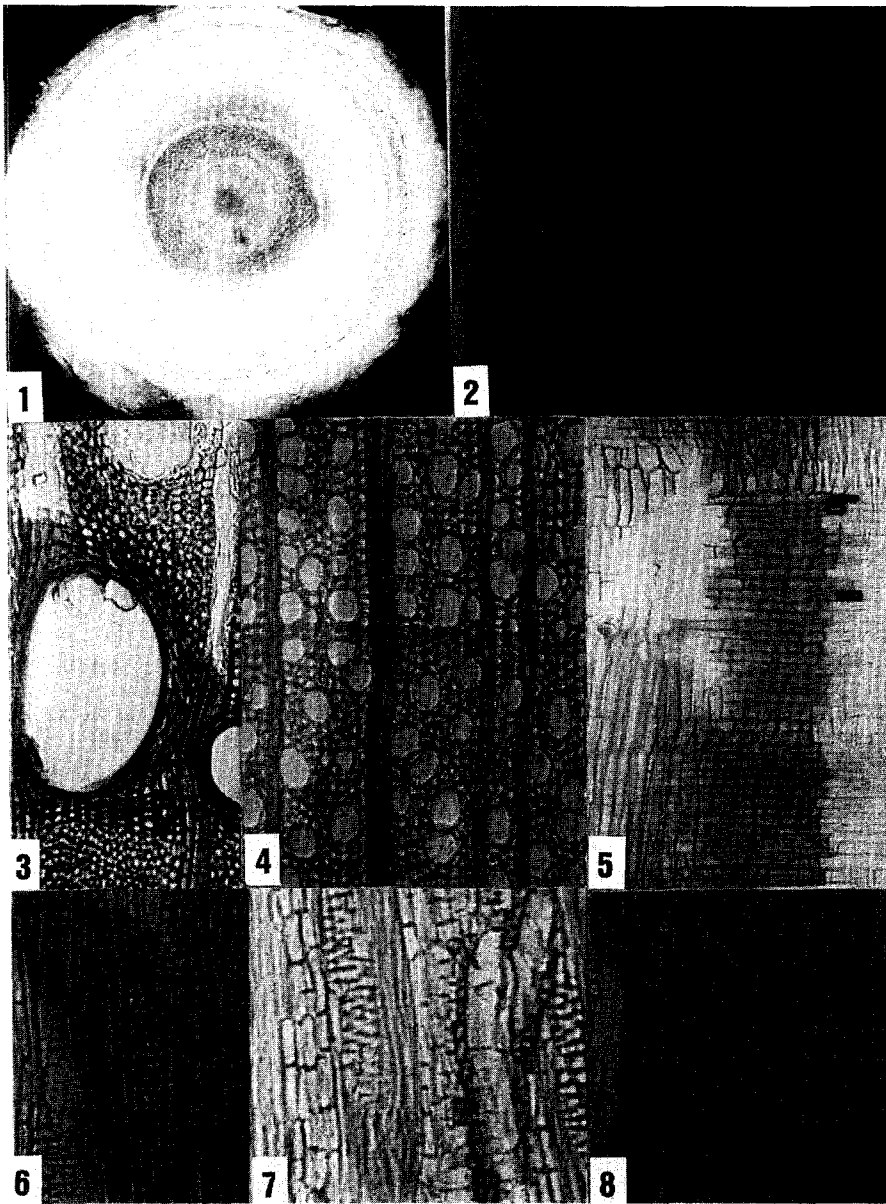
染料의 浸透는 아까시나무의 경우 當該年度에 形成된 早材部의 大導管과 前年度에 形成된 早材部의 大導管에 의해서 주도되었으며(Fig. 1, 3), 약간은 當該年度와 前年度에 形成된 晚材部 小導管에 의해서 이루어졌다(Fig. 3). 또한, 導管 주위에 존재하는 軸方向柔細胞 및 放射組織 등은 導管을 통해서 통도된 염료가 이동되는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 3). 軸方向柔細胞 및 放射組織으로의 염료이동 또한 當該年度와 前年度에 形成된 세포에서만 염료의 흡착을 관찰할 수 있었다(Fig. 3, 5, 7). 따라서 아까시나무는 橫斷面에서 染料의 浸透經路를 관찰했을 때 心材와 移行材를 제외한 목재의 최외측에 있는 邊材部에서 두개의 圓形 띠를 만들었다(Fig. 1). 그리고 아까시나무에서의 최외부 1-2 년륜층에서의 染料 浸透速度는 30-50 cm/hr 범위였다.

이러한 결과는 타이로시스가 導管의 壁孔을 閉鎖하여 수분통도를 억제하므로(Cote, 1963) 타이로시스가 거의 완전하게 발달한 樹皮로부터 2年輪 以前에 形成되어 있는 導管은 수분통도 역할을 수행하지 않는 것으로 생각된다. 반면에 타이로시스가 비교적 적게 나타나는 當該年度에 形成된 최외부와 前年度에 形成된 導管을 통해서 수분통도가 이루어지는 것으로 사료된다. Ellmore와 Ewers(1985)는 느릅나무와 같은 環孔材는 樹皮쪽의 최외부 年輪에서 수분통도가 민감하게 이루어지고 그 내부로 진행함에 따라 점진적으로 수분통도의 속도가 떨어진다고 했다. 우리나라産 闊葉樹材 112種을 조사한 全(1990)에 의하면, 環孔材이면서 타이로시스를 가지고 있는 수종은 약 밤나무(*Castanea bungeana*), 밤나무(*C. crenata*), 상수리나무(*Quercus acutissima*), 굴참나무(*Q. variabilis*), 떡갈나무(*Q. dentata*), 갈참나무(*Q. aliena*), 신갈나무(*Q. mongolica*), 줄참나무(*Q. serrata*), 참느릅나무(*Ulmus parvifolia var. coreana*), 비술나무(*U. pumila*), 난티나무(*U. laciniata*), 느릅나무(*U. davidiana var. japonica*), 시무나무(*Hemiptelea davidii*), 느티나무(*Zelkova serrata*), 팽나무(*Celtis sinensis*), 풍개나무(*C. jessoensis*), 다릅나무(*Maackia amurensis*), 들메나무(*Fraxinus*

*mandshurica*), 물푸레나무(*F. rhynchophylla*), 참오동나무(*Paulownia tomentosa*), 오동나무(*P. coreana*), 꽃개오동나무(*Catalpa speciosa*) 등인 것으로 조사됐다. 따라서 이들 수종은 본 연구에서 조사한 아까시나무 및 Ellmore와 Ewers(1985)가 연구 대상으로한 미국 느릅나무(*Ulmus americana*)의 연구 결과와 같은지 여부를 후일에 연구할 필요가 있다고 생각된다.

한편, 산돌배나무의 경우는 髓(pith)를 제외하고 전부위에 염료침투가 이루어졌다(Fig. 2). 뿐만 아니라 산돌배나무는 아까시나무와 다르게 木纖維까지도 염료의 침투를 관찰할 수 있었다(Fig. 4, 6, 8). 이러한 결과는 산돌배나무가 散孔材이기 때문에 水分移動이 環孔材와는 달리 邊材部 또는 心材部의 小導管과 모든 목섬유를 통해 일어난다고 생각된다. 따라서 導管을 통하여 침투된 염료액이 導管放射組織間壁孔 또는 導管과 木纖維사이의 壁孔을 통하여 염료의 이동이 이루어지는 것으로 생각된다. 또 산돌배나무의 염료침투속도는 20-40cm/hr 범위였다. 全(1990)이 우리나라産 闊葉樹材 112種을 조사한 결과에 의하면 散孔材 樹種 중 孤立管孔이면서 木纖維에 有緣壁孔이 존재하고 타이로시스가 존재하지 않는 樹種은 산사나무(*Crataegus pinnatifida*), 털야광나무(*Malus baccata var. mandshurica*), 아그배나무(*M. sieboldii*), 돌배나무(*Pyrus pyrifolia*), 마가목(*Sorbus commixta*), 팔배나무(*Sorbus alnifolia*), 노각나무(*Stewartia koraeana*), 산딸나무(*Cornus kousa*), 총총나무(*C. controversa*), 말채나무(*C. walteri*) 등인 것으로 조사했다. 따라서 이들 수종의 염료침투 경로가 산돌배나무와 같은지 여부를 연구할 필요가 있다.

살아있는 樹木에 있어 水分移動 經路를 이용한 무늬목을 만들어 高品質의 木材를 생산하기 위해서는 染料의 浸透經路와 사용되는 染料의 種類가 매우 중요하다. 보통 많이 사용되는 染料로는 Fast green, Safranin, 酸性 Fucshin, 塩基性 Fucshin 등이며, 立木에 대한 注入時期는 蒸散이 왕성한 계절로 5, 6, 7, 8月 중 맑은 날 오전 중에 처리하는 것이 가장 좋다. 특히 아까시나무와 같은 環孔材 樹木에서는 邊材部의 最外層의 몇개의 年輪層만 染色되고, 심지어 이들 細胞層에서도 타이로시스가 발생하는 부분에서는 染色이 곤



- Fig. 1. Transverse surfaces of *Robinia pseudoacacia* treated with the acidic fuchsin. Two growth rings from cambium zone are stained.
- Fig. 2. Transverse surfaces of *Pyrus ussuriensis* treated with the fast green. All xylem are penetrated except pith.
- Fig. 3. Transverse surfaces of the first growth ring from bark in *Robinia pseudoacacia*, including tyloses in vessel lumina. (x 33)
- Fig. 4. Transverse surfaces of *Pyrus ussuriensis* treated with the acidic fuchsin. All of cells are stained. (x 33)
- Fig. 5. Radial surfaces of *Robinia pseudoacacia*. Right and left are late wood and center is early wood in the first growth ring from the bark. (x 33)
- Fig. 6. Radial surfaces of *Pyrus ussuriensis* and all of cells are stained with the acidic fuchsin. (x 33)
- Fig. 7. Tangential surfaces of *Robinia pseudoacacia*. Partial cells adjacent vessel elements are stained with acidic fuchsin. (x 33)
- Fig. 8. Tangential surfaces of *Pyrus ussuriensis* with all cells stained with acidic fuchsin. (x 33)

란하므로 될 수 있는한 타이로시스가 확대되기 전에 每年 染料를 浸透시켜 나가는 방법 등이 고려되어야 할 것으로 사료된다. 그리고 산돌배나무와 같은 散孔材 樹木에서는 全導管과 全木纖維에서 고른 染料의 浸透가 일어나므로, 비교적 쉽게 色素浸透法에 의해 高品質의 木材를 생산할 수 있다고 생각된다.

한편, 이와 같은 방법으로 무늬목을 생산하기 위하여는 앞으로 해결되어야 할 과제가 있다고 생각된다. 첫째로는 많은 노동력을 필요로 하므로 이를 해결할 수 있는 방법이 제시되어야 한다. 둘째로는 열료가 木材 表面이외에 木材内部에 浸透되어 染料의 過多消費가 발생한다. 따라서 앞으로 이러한 문제를 해결하기 위한 연구와 樹種別로 染料浸透의 經路를 정확하게 파악할 수 있는 연구가 이루어져야 된다고 생각된다.

### 引用 文 獻

1. 朴相珍·李元用·李弼宇. 1981. 木材組織과 圖解. 114 - 115. 正民社, 서울, 韓國, 174 pp.
2. 朴相珍·李元用·李華珩. 1987. 木材組織과 識別. 313. 鄉文社, 서울, 韓國, 384pp.
3. 全壽京. 1990. Computer를 利用한 韓國産 木材의 識別에 關한 研究. 博士學位論文. 江原大學校, 春川, 韓國, 179pp.
4. 韓相燮·金善熹. 1992. 樹木의 水分持性에 關한 生理, 生態學的 解析(VII). Heat pulse 법에 의한 낙엽송 林分의 樹液流速 計測. 33 回 韓國林學會 學術研究發表集, 54 - 56.
5. 森川 靖. 1974. ヒノキ의 樹液의 流れ - 林木의 水分收支と關連して -. For. Bull. Tokyo Univ. 9 : 251 - 297.
6. 矢幡 久. 1986. 樹木における水の吸收, 移動, 排出に關ける研究. 九州大學 博士學位論文, 134pp.
7. Cote, W.A. JR. 1963. Structural factors affecting the permeability of wood. J. of Polymer Sci., 2 : 231 - 242.
8. Ellmore, G.S. and F.W. Ewers. 1985. Hydraulic conductivity in trunk xylem of elm, *Ulmus americana*. IAWA Bull. N.S. 6 : 303 - 307.
9. Ewers, F.W. and M.H. Zimmerman. 1984. The hydraulic architecture of balsam fir (*Abies balsamea*). *Phyiol. plant.* 60 : 453 - 458.
10. Greenidge, K.N.H. 1958. Rules and patterns of moisture movement in trees. *The physiology of forest trees* (K.V. Thimann, ed), Ronald press, New York, 19 - 41.
11. Hinckley, T.M., J.P. Lassoie and S.W. Running. 1978. Temporal and spatial variations in the water status of forest trees. *For. Sci. Monograph* 20 : 1 - 72.
12. Kozlowski, T.T. and C.H. Winget. 1963. Patterns of Water movement in forest trees. *Bot. Gaz.* 124 : 301 - 311.
13. Kozlowski, T.T., P.J. Kramer and S.G. Palardy. 1991. *The physiological ecology of woody plants.* Academic Press, New York, 657pp.
14. Lassoie, J.P., D.R.M. Scott and L.J. Fritschen. 1977. Transpiration studies in Douglas-fir using the heat pulse technique. *For. Sci.* 23 : 377 - 390.
15. Nobel, P.S. 1991. *Physicochemical and environmental plant physiology.* Academic Press, New York, 635pp.
16. Rudinsky, J.A. and J.P. Vite. 1959. Certain ecological and physiogenetic aspects of the patterns of water conduction in conifers. *For. Sci.* 5 : 259 - 266.
17. Sudo, S. 1959. Identification of Japanese woods. *Bull. Govt. For. Exp. Station No. 118.* Tokyo, Japan, 61~63.
18. Wheeler E.A., R.G. Pearson, C.A. LaPasha, T. Zack, and W. Hatley. 1986. Computer-aided wood identification. Reference manual. N.C. Ag. Res. Serv. Bull. 474pp.
19. Yamabayashi, N. 1938. Identification of Korean wood. *Forest Experiment Station Government-General of Korea*, 132~154.
20. Zimmermann, M.H. 1978. Hydraulic architecture of some diffuse - porous trees. *Can. J. Bot.* 56 : 2286 - 2295.