

# 증산법에 의한 잣나무와 일본잎갈나무의 목부내 염료침투

전 수 경<sup>\*1</sup>

## Dye Penetration into Xylem of *Pinus koraiensis* and *Larix leptolepis* by Transpiration Method

Su Kyoung Chun<sup>\*1</sup>

### ABSTRACT

---

This study was carried out to elucidate the relationship between wood anatomy and the water flow path in *P. koraiensis* and *L. leptolepis*. through the experiment of penetration of the dye solution. The experiment was performed by permeating 1% acid, alkali and direct solution into the xylem just after being cut.

The results obtained were summarized as follows :

1. In *P. koraiensis* and *L. leptolepis*, the dye solution penetrated into sapwood and annual rings adjacent to cambial zone were only dyed according to ascent of tree height.
2. The penetrability of latewood was better than that of earlywood.
3. In *P. koraiensis* and *L. leptolepis*, the main water flow path in longitudinal direction was the trachied and that in transverse direction was ray trachied and ray parenchyma. Also, the dye solution was found in resin canal.
4. *P. koraiensis* was more permeable than *L. leptolepis*.
5. Among the acid, alkali and direct dye solution, the acid dye solution was the most permeable.

*Keywords* : Transpiration method, Penetration, Sapwood, Water flow path, Dye solution

---

---

\*1 강원대학교 임산공학과, Department of Wood Science and Tech., Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

## 1. 緒 論

전 국토 면적의 60%이상이 산림인 우리나라는 산림의 산지자원화를 추진하는 데 있어 소경재의 처리방안 때문에 귀중한 산림자원이 제대로 육성되지 못하는 실정에 있다. 그 이유는 국내에서 생산되는 소경재의 대부분이 갱목, 펄프, 보드류, 말목 등 경제적 가치가 낮은 분야에 이용되고 있는 반면, 벌채비용은 높아 대부분의 산주들이 간벌을 기피하고 있기 때문이다.

소경재를 고부가가치화 하는 데는 새로운 용도의 창출, 생산 및 가공비용의 저감화에 의한 대량소비 유도 등의 많은 방안들이 제시되고 있으며, 원래 소재 그대로의 상태에서 물리·기계적 가공방법의 적용에 의한 이용기술의 개발이 활발히 연구 진행되고 있다. 이에 반해, 소재에 각종 물질을 주입하여 산지에서 바로 새로운 기능을 부여하여 소경재를 고부가가치화 하고자 하는 연구는 아직 미흡한 실정이다.

飯田(1991)은 소경재를 활용하는 방안으로 60여종의 침·활엽수 소경목을 원구침지법에 의해 염색한 후, 염색된 재의 특징을 조사하였다. 그 결과, 수종에 따라 다양한 특징을 가진 染色材를 얻을 수 있었고 이 결과를 바탕으로 生立木의 원구침지법은 소경재를 여러 분야에 충분히 이용 가능하게 할 수 있는 방법이라고 제안하였다. 우리나라의 경우, 張과 李(1993)가 간벌 소경재의 활용방안을 위해 주요 간벌재에 수용성 염료를 침투시켜 재색이 미려한 칼라내츄럴우드를 제조하였다. 그 결과 염료침투는 수분통도 등 생리적 기능을 가진 변재부에서만 이루어지므로 직경이 작은 간벌 소경재로 제조한 칼라내츄럴우드를 이용하여 제품을 제조하기 위해서는 이를 고려할 필요가 있으며 이들에 대한 연구가 필요하다고 하였다. 또한, 奎과 韓(1992), 奎(1995)은 소경재의 고부가가치화 방안으로 저비용으로 재 전체에 용이하게 염색하는 것이 가능한 증산법을 제안하였다. 이 방법은 간벌소경재는 변재부가 많고 이 재부를 낮은 비용과 간편하고도 효과적인 방법으로 시장성이 높은 다양

한 색조로 염색하는 것이 가능하다면 저품질재인 간벌소경재의 부가가치는 충분히 높아질 것이라는 것에 착안하였다.

입목에 있어서 수분이동의 구동력은 뿌리-줄기-가지-葉으로 이어지는 조직내 수분 포텐셜의 차이에 기인한다(Kozowski 등, 1991). 즉, 葉에서 증산작용에 의해 수분이 증발하면 葉의 수분 포텐셜이 감소하여 貧壓이 발생하고 그 압력차 만큼 지나 줄기의 목부조직을 통해 수분을 잡아당기기 때문에 수액상승이 일어난다. 수액상승시 수분은 주로 침엽수의 가도관과 활엽수의 도관을 통해 이동하지만 이들 전부가 통수 기능을 담당하고 있는 것은 아니다(森川, 1974; Kozowski 등, 1991; 奎 등, 1992). 예를 들면, 환공재인 활엽수는 조재부 중 최외부 몇 개의 연륜에서만 수액상승이 일어났고(Kozowski 등, 1991; 奎 등, 1992), 산돌배나무와 같은 산공재인 활엽수에서는 전 도관과 전 목섬유에서 고른 수액의 상승이 일어났다(奎 등, 1992). 또한, 수목의 조재부에 있어서 수분 통도성은 도관 또는 가도관 세포의 구조, 크기, 연륜의 위치, 배열 등에 따라 다양하며 동일 수종 내에서도 일정하지 않다(奎 등, 1992) 등의 연구결과를 들 수 있다. 따라서, 살아 있는 나무의 줄기에 각종의 염료용액을 주입시켜 아름다운 고품질의 목재를 생산하고자 하는 기술 개발에서는 수종별로 수액상승의 경로를 밝히는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 우리나라 인공조림목의 대부분을 차지하고 있는 잣나무와 일본잎갈나무 소경재의 활용방안에 대한 기초자료를 제시하기 위해 이들 수목을 벌채하는 즉시 원구를 염료용액에 담그는 방법으로 염료를 침투시켜 염료의 침투경로, 목재조직과의 관계, 염료용액의 침투량 및 범위 등을 수종별로 조사했다.

## 2. 材料 및 方法

### 2. 1 공시수종

공시수종은 2000년 5월 강원도 춘천시 동산면 봉명리 강원대학교 연습림에서 형질이 양호한 잣나무(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)와 일본

잎갈나무(*Larix leptolepis* Gordon)를 수분씩 벌채하여 공시재료로 사용하였다. 잣나무와 일본잎갈나무의 평균 흉고직경과 수고는 각각 5.5cm, 4.0m와 4.8cm, 5.9m였다.

## 2. 2. 염료용액 및 침투방법

염료용액은 산성, 염기성 및 중성염료로서 1% 농도의 수용액으로 제조하여 실험하였다. 잣나무와 일본잎갈나무를 지상으로부터 0.3m 부위를 절단하여 가지와 잎을 자르지 않고 염료용액이 담긴 용기에 수목의 원구를 태양광선 아래에서 담구었다. 실험은 수목의 증산작용이 왕성하게 이루어져 많은 수분이 상승하는 시기인 5~6월에 실시했다. 침투시간은 공시목을 염료수용액에 침적시킨 후 시간이 경과하여 공시목의 잎이 염료용액에 의해 염색이 될 때까지를 침투종료시점으로 하였다.

## 2. 3. 염료용액의 침투성, 침투높이 및 침투부위

염료침투를 마친 후, 지상으로부터 1m 높이별로 원판을 채취하여 각 수종에 있어서 염료용액의 침투성, 침투높이 및 침투부위를 조사했다. 그리고, 각 원판별로 염료용액이 침투된 부위를 사진 촬영했다.

## 2. 4. 세포별 염료용액의 침투경로 조사

세포별 염료용액 침투경로를 조사하기 위하여 각 원판 내에서 3단면별로 영구 프레파라를 제작했다. 영구 프레파라 제작 후 염료용액의 침투경로와 구성세포별 특징을 조사하기 위해 광학현미경으로 사진 촬영했다.

# 3. 結果 및 考察

3. 1 목재의 조직적 특징과 염료용액의 침투경로  
 잣나무의 조직구조는 조재와 만재의 이행이 비교적 완만하고 만재폭은 좁았다. 수직수지구는 대형으로 조재부에도 존재하였다(photo 1b). 유연벽공은 1열이었으며, 방사조직은 대부분이 단열로 존재하였고 가방사도관의 수평벽은 평활하였다. (photo 1c, 1d). 분야벽공은 창상형으로 1~2

개였다(photo 1c). 일본잎갈나무의 경우, 조재와 만재의 이행은 매우 급진적이고 만재폭은 넓으며, 연륜경계가 매우 명확하였다(photo 2b). 방사조직은 대부분이 단열로 존재했다(photo 2d). 분야벽공은 가문비나무형 또는 편백나무형으로 2~4개 존재했다(photo 2c).

Photo 1a, 2a는 증산법에 의한 잣나무와 일본잎갈나무 횡단면에 대한 염료용액의 침투형태를 나타낸다. 두 수종 모두 변재부에서만 염료용액의 침투가 관찰되었다.

Jinjing(1989)는 라디에타소나무를 대상으로 변재부와 심재부의 벽공폐쇄율을 관찰한 결과, 조재의 벽공폐쇄율은 변재부에서 10~30%, 심재부에서 약 90%정도였으며, 만재의 경우는 변재부에서 0~10%, 심재부에서 약 20%정도의 벽공폐쇄가 발생했다고 보고했다.

또한, Erickson(1970)과 Matsumura (1995)는 벽공폐쇄 이외에 심재화 과정시 심재물질에 의해 발생하는 벽공폐색이 또한 심재부의 투과성에 중대한 영향을 미친다고 보고하였다. 따라서, 심재부로 염료용액이 침투되지 않은 것은 유역벽공의 폐쇄율이 크고 더욱이 심재물질에 의한 벽공폐색이 더해진 결과가 그 원인이라 생각된다. 또한, 조재부와 만재부의 유연벽공 폐쇄율의 차는 세포벽 조직구조의 차에 기인한다. 즉, 조재부에 비해 만재부의 유연벽공대는 벽공벽이 두껍고 강성이 크기 때문에 벽공폐쇄에 대한 저항력이 강해 벽공이 폐쇄되기 어렵다고 알려져 있다(Siau 1984).

Photo 1b, 2b는 변재부에 대한 수종별 조재부와 만재부의 염료용액 침투경로를 나타낸다. 두 수종 모두 조재가도관과 만재가도관에서 염료용액의 침투가 관찰되었고 조재부보다 만재부 쪽이 더 길게 착색했다. 따라서, 두 수종 모두 조재가도관과 만재가도관이 염료용액의 침투경로로서 역할을 담당하고 있음을 알 수 있었다. 또한, 방사유세포와 방사가도관에서 염료용액의 착색이 관찰되었다( 1c, 2c).

방사유세포와 방사가도관의 통도역할에 대해서는 여러 연구자들에 의해 연구 발표되었다. Erickson(1970)은 미송을 공시수종으로 하여 투과성 실험을 실시한 결과, 방사방향의 침투는 주로 방사가도관에 의해서 행해졌고 방사유세포는 통

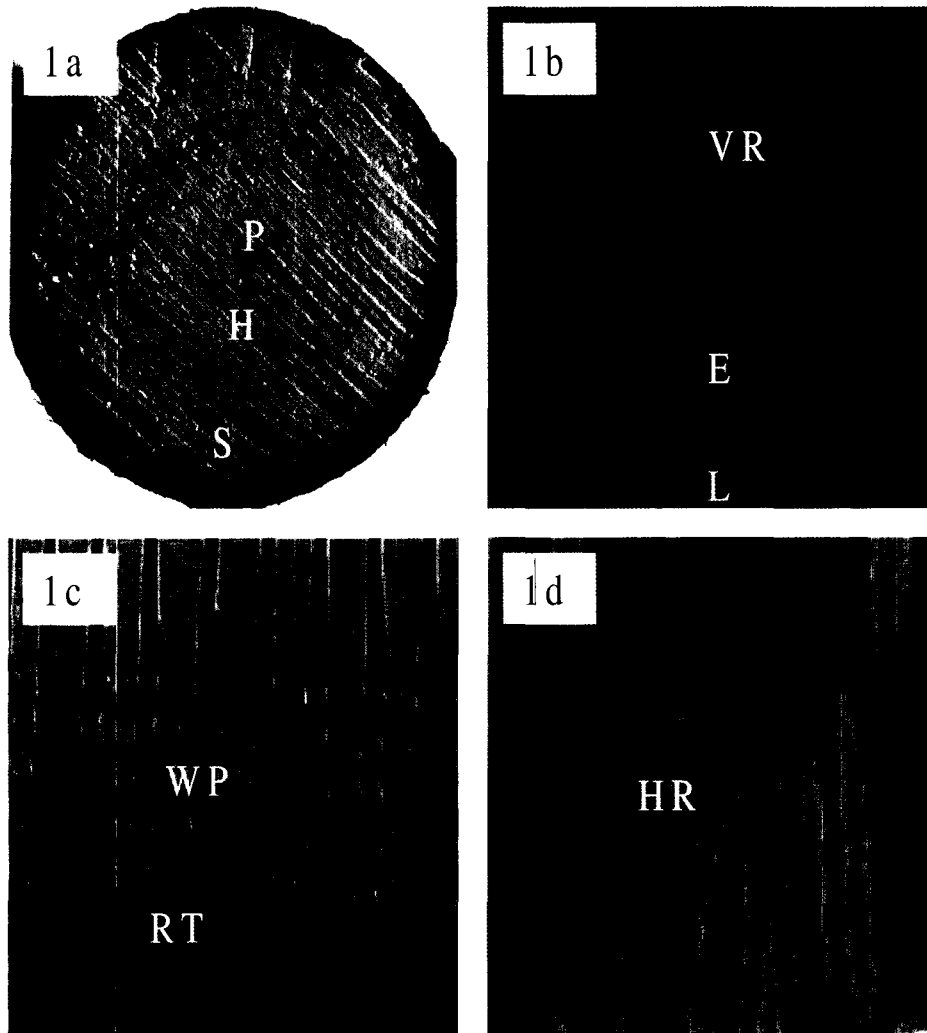


Photo. 1a. The photograph of the cross section at 2m height in *P. koraiensis*

P : Pith. H : Heartwood. S : Sapwood.

Photo. 1b. The microphotograph of the cross section at 2m height in *P. koraiensis* (X200).

VR : Vertical resin duct. E : Earlywood L : Latewood.

Photo. 1c. The microphotograph of the radial section at 2m height in *P. koraiensis* (X200).

WP : Window like pit. RT : Ray trachied.

Photo. 1d. The microphotograph of the tangential section at 2m height in *P. koraiensis* (X200).

HR : Horizontal resin duct.

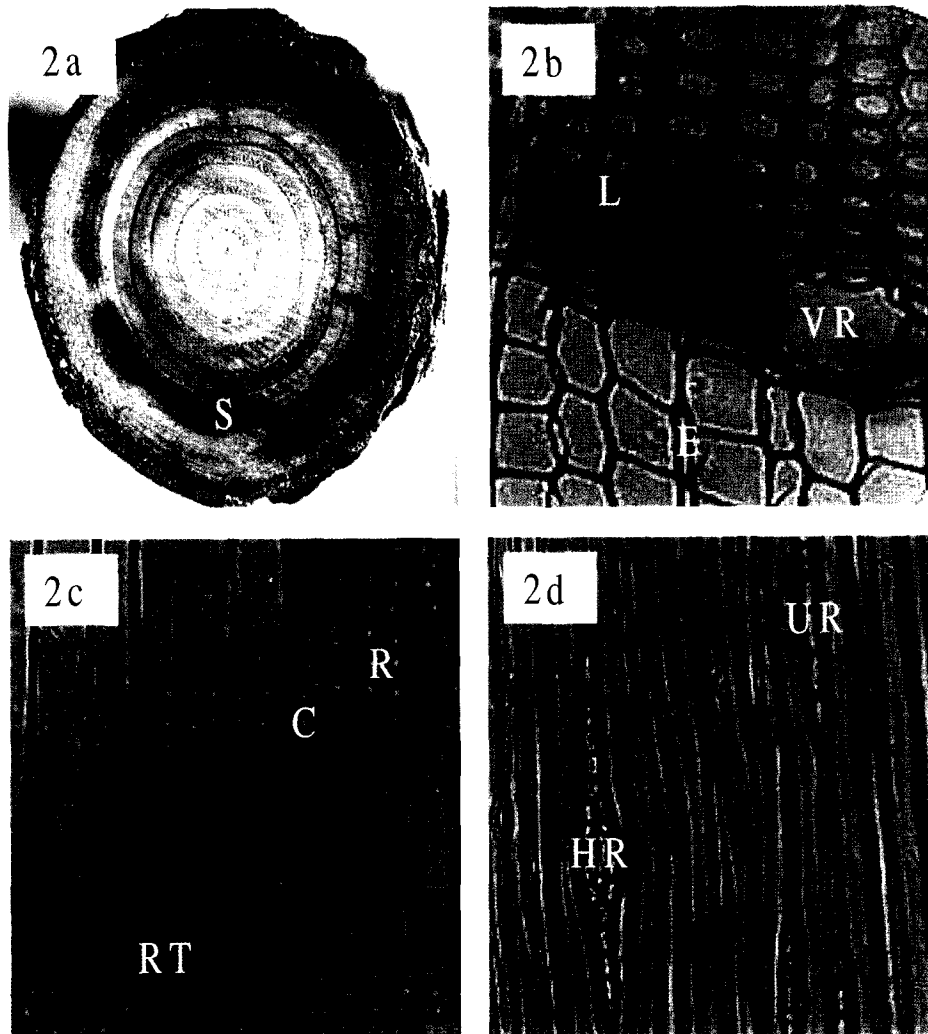


그림 3

Photo. 2a. The photograph of the cross section at 2m height in *L. leptolepis*.

P : Pith. H : Heartwood. S : Sapwood.

Photo. 2b. The microphotograph of the cross section at 2m height in *L. leptolepis* (X200).

VR : Vertical resin duct. E : Earlywood L : Latewood.

Photo. 2c. The microphotograph of the radial section at 2m height in *L. leptolepis* (X200).

C : Cross field pitting. R : Ray parenchyma cell. RT : Ray tracheid.

Photo. 2d. The microphotograph of the tangential section at 2m height in *L. leptolepis* (X200).

HR : Horizontal resin duct. UR : Uniseriate ray.

도로써 유용하거나 혹은 거의 비침투성이라고 보고 하였다. 이와는 반대로 Wardrop(1961) 등은 방사유세포쪽이 방사가도관보다 주도적인 수분 통도의 역할을 담당한다고 기술하였다. 金(1990)은 목재의 액체침투성과 침투경로에 관한 조직학적 연구를 통해 횡방향 침투는 방사유세포를 통해 먼저 침투가 이루어진 다음 방사가도관을 로 침투가 진행된다고 보고 하였다.

한편, Hayashi(1966)는 침엽수에 대한 액체투과성 실험에서 방사가도관과 방사유세포 간의 명확한 침투성의 차이는 확인되지 않았다고 발표하였다.

염료용액 침투실험 결과 나타난 또 하나의 특징은 두 수종 모두에서 수지구에 염료용액의 침투가 관찰되었다는 점이다(Photo 1d, 2d). 수지구는 수지의 저장·분배를 담당하는 긴 관상의 기관으로 세포간에 형성되는 세포간극의 일종이다. 수지구의 수분통도의 역할은 아직 명확하다고 말할 수 없지만 본 실험결과 수지구도 변재부의 수분이동통로로써 역할을 담당하고 있다고 생각된다.

3. 2 수종별, 수고별, 연륜별 염료용액의 침투비교

Figure 1은 잣나무와 일본잎갈나무의 염료용액 침투성을 나타낸다. 잣나무와 일본잎갈나무의 평균 수고는 각각 4.80m와 5.80m이다. 염료용액의 침투높이를 살펴보면, 잣나무의 침투높이는 4.80m, 일본잎갈나무 경우는 3.15m였다. 또한, 시간당 염료용액의 침투높이는 잣나무 0.10m/hr, 일본잎갈나무 0.02m/hr이었다. 변재부는 대부분의 벽공이 개방되어 있으므로 벽공폐쇄의 비율로 두 수종간의 침투성의 차이를 설명할 수는 없다. 따라서, 본 실험결과 나타난 두 수종간 염료 침투성의 차이는 잣나무가 일본잎갈나무보다 수분 이동경로의 반경이 크기 때문이라고 생각된다.

증산법에 의한 염료용액의 높이별 침투범위를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 잣나무는 총 15연륜 중 변재가 9연륜이었고 1m 부위에서는 형성층으로부터 9연륜이 모두 착색되었다. 수고 2m에서는 형성층으로부터 6연륜이 착색되었고 수고 3m, 4m에서는 형성층으로부터 5연륜이 착색되었다. 일본잎갈나무는 총 16연륜 중 변재가 6연륜이었다. 수고 1m 부위에서는 형성층으로부터 10연륜이 모두 착색되었고, 수고 2m 부위에서는 형성층으로부터 8연륜이 착색되었다. 그러나, 그 이상의 수고에서는 염료용액의 침투가 일어나지 않았다. 일본잎갈나무는 잣나무에 비해 침투높이가 작아 확실히 말할 수 없으나 수고가 상승함에 따라 염료용액의 침투부위가 감소하는 경향을 보였다. 수고별 염료용액의 침투패턴 결과 모든 변재부가 수분이동의 통도역할을 담당하고 있지 않음을 알 수 있었다. 즉, 수고가 높아질수록 형성층에 인접한 연륜을 중심으로 염료용액이 착색되는 경향을 보였다.

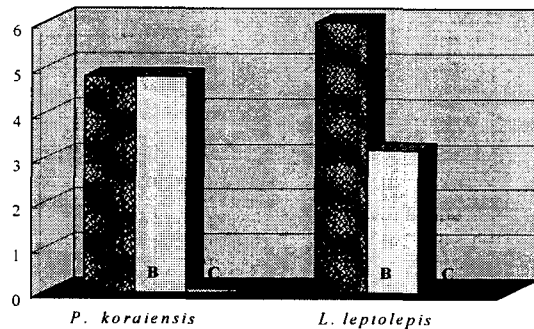


fig. 1. The height of Penetration of the dye solution between P.Koraiensis and L. leptolepis by the transpiration method. A: the height of trees, B: the height of penetration of the dye solution after the final experiment. c: the height of penetration of the dye solution per time.

Table 1. The Permeated Portion per tree height in pinus koraiensis and Larix leptolepis.

Species	Total annual ring	Annual ring of heartwood	Annual ring of heartwood	Permaeated annual ring number per height					
				1m	2m	3m	4m	5m	6m
Pinus koraiensis	15	6	9	0~9	0~6	0~5	0~3		
Larix leptolepis	16	6	10	0~10	0~8				

3. 3 염료용액별 착색도

Figure 2는 산성, 염기성 및 중성 염료용액의 착색도를 나타낸다. 수고 4.80m, 흉고직경 5.3cm의 잣나무에 산성 염료용액을 침투시킨 결과 침투높이는 4.80m이었고, 수고 5.80m, 흉고직경 5.7cm의 잣나무에 염기성 염료용액을 침투시킨 결과 침투높이는 1.50m이었으며, 수고 4.50m, 흉고직경 4.5cm의 잣나무에 중성 염료용액을 침투

시킨 결과 침투높이는 1.70m였다. 수고 6.00m, 흉고직경 4.9cm의 일본잎갈나무에 산성 염료용액을 침투시킨 결과 침투높이는 3.15m이었고, 수고 5.90m, 흉고직경 4.8cm의 일본잎갈나무에 염기성 염료용액을 침투시킨 결과 침투높이는 1.70m이었으며, 수고 4.50m, 흉고직경 4.0cm의 일본잎갈나무에 중성 염료용액을 침투시킨 결과 침투높이는 0.30m였다. 본 실험에 사용된 산성

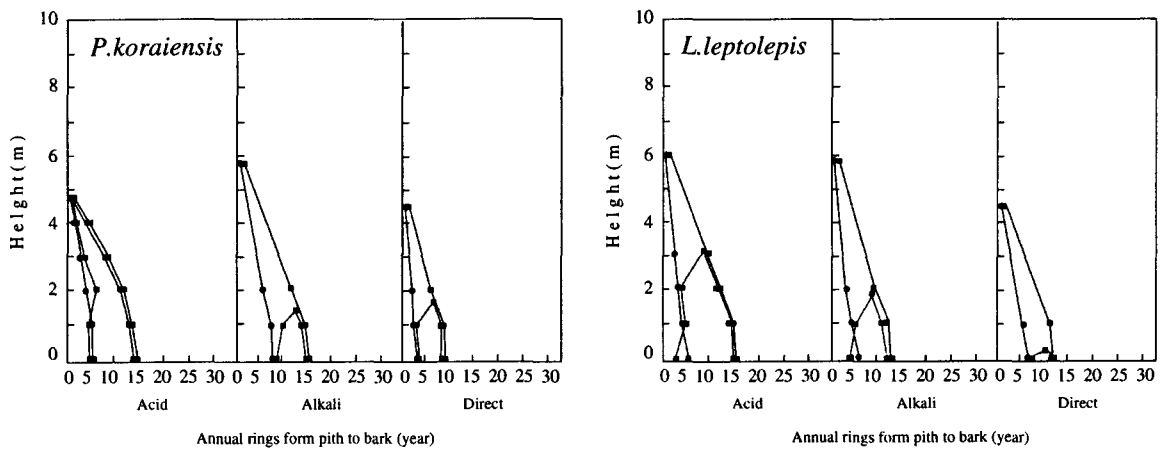


Figure 2. The permeated portion of xylem in *P. koraiensis* and *L. leptolepis* by acid, alkali and direct dye solution.

- : The boundaries between bark and xylem.
- : The boundaries between the heartwood and the sapwood.
- : The boundaries between the permeated portion and the unpermeated portion of acid dye solution.
- : The boundaries between the permeated portion and the unpermeated portion of alkali dye solution.
- : The boundaries between the permeated portion and the unpermeated portion of direct dye solution.

염료용액은 pH 3의 수용성 용액이다. 따라서, 잣나무와 일본잎갈나무 모두에서 산성 염료용액이 가장 높은 침투량을 나타낸 것은 수액의 산도가 산성이기 때문에 염기성 및 중성보다 높은 침투성을 보였다고 생각된다. 또한, Table 1과 같이 수고가 상승함에 따라 산성, 염기성 및 중성 염료용액 모두 형성층 부위의 연륜을 중심으로 염료용액이 착색되는 경향을 보였다.

한편, 변재와 심재의 경계부인 이행재에서도 염료용액의 침투가 일어나지 않았다(Figure 2). Nobuchi와 Harada(1983)는 삼나무를 대상으로 변재에서 심재까지 벽공폐쇄율과 함수율과의 관계를 조사했다. 그들은 이행재의 함수율은 변재의 함수율보다 낮았고 이행재의 경계에서 변재에서 개방되어 있던 벽공의 60% 이상이 급속히 폐쇄되어 버렸다고 보고했다.

또한, Fujii (1997) 등도 삼나무를 대상으로 변재, 이행재 및 심재의 벽공폐쇄율을 조사한 결과, 이행재의 벽공폐쇄율이 클수록 심재부의 벽공폐쇄율이 크다는 사실을 발견했다. 따라서, 두 수종 모두 이행재에 염료용액이 침투되지 않은 것은 벽공폐쇄율의 증가와 관계 있기 때문이라고 생각된다.

#### 4. 結 論

증산법에 의한 잣나무와 낙엽송의 목부내 염료침투의 실험결과는 다음과 같다. 염료용액은 두 수종 모두 변재부에서만 침투가 일어났으며 수고상승에 따라 형성층 부위의 연륜을 중심으로 염료용액이 착색되었다. 또한, 이행재로 진행됨에 따라 염료용액의 침투는 관찰되지 않았다. 염료용액은 조재부보다 만재부 쪽이 더 짙게 착색되었다. 축방향에서는 조재부와 만재부 가도관이, 횡방향에서는 방사가도관과 방사유세포가 수분이동통로의 역할을 담당하였다. 또한, 수지구에서도 염료용액의 침투가 관찰되었다. 염료용액의 침투성은 잣나무가 일본잎갈나무보다 우수하였고, 산성 염료용액이 염기성 및 중성 염료용액에 비해 침투성이 뛰어났다. 각 수종별 침투량과 침투 부위가 다른 것은 수종별로 다른 유전적 인자를 갖고 있거나 이동경로 크기의 차이가 그

원인이라고 생각된다. 따라서, 앞으로 이들의 연구 검토를 통해 잣나무와 일본잎갈나무 소경재의 알맞은 활용방안을 제시하는 것이 타당하다고 생각된다.

#### 5. 參考文獻

1. 김유정. 1990. 木材의 液體浸透性과 浸透經路에 關한 組織學的 研究. 경북대학교 임산공학과 석사학위논문
2. 朴相珍, 李元用, 李華珩, 1987. 木材組織과 識別, 향문사. pp. 106-114.
3. 張元熙, 李華珩. 1993. 間伐 小經材를 利用한 갈라내츄럴우드의 製造와 그 活用方案. 한국가목학회지 4(2): 31-36.
4. 全壽京. 1995. 벚나무, 층층나무, 고로쇠나무의 목재조직과 수분이동경로. 한국가목학회지 6(1, 2): 77-84.
5. 전수경, 한상섭. 1992. 아까시나무와 산돌배나무의 목부에 있어서 수분이동경로에 따색 소침투. 한국임학회지 81(4): 357-362.
6. 森川 靖 : ヒノキ의 樹液流林木의 水分收支關連して. 東京大學 演習林報告 66: 251-297.
7. 飯田 生穗. 1991 : 變わる木材. 海清社, pp. 63-69.
8. Erickson, H. D. 1970. Permeability of southern pine wood - A review. Wood Sci. 2(3) : 149-158.
9. Fujii, T. Y. Suzuki., and N. Kuroda. 1997. Bordered pit aspiration in the wood of Cryptomeria Japonica in relation to air permeability. IAWA. Journal. 18(1): 69-76.
10. Hayashi, S. K. Nishimoto. and T. Kishima. 1966. Study on the liquid permeability of softwood. Wood Research No. 36:47-57. Wood Research Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan.



11. Jinxing, L. 1989. Distribution, size and effective area of the inter-tracheid pits in the radial wall of *pinus radiata* tracheids. IAWA. Journal. 10(1) : 53-58.
12. Kozlowski, P.J. Kramer and S.G. Pallardy. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, New York. pp.657.
13. Matusmura, J. J. Tsutsumi., and K. Oda. 1995. Effect of ethanol exchange-drying and ethanol treatments after natural-drying on longitudinal gas permeability of softwood. Mokuzai Gakkaishi. 41(9): 863-869.
14. Nobuchi, T. and H. Harada. 1983. Physiological feature of the "white zone" of Sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) -Cytological structure and moisture content-. Mokuzai Gakkaishi. 29(12):824-832.
15. Siau, J. F. 1984. Transport processes in wood. Springer-Verlag, pp. 49-53.
16. Wardrop, A. B. and Davies, G. W. 1961. Morphological factors relating to the penetrating of liquids into wood. Holzforschung, 15 : 129-141.