

## 北洋 針葉樹材의 空氣 透過性\*<sup>1</sup>

池 宇 根<sup>2</sup> · 金 奎 赫<sup>2</sup>

## Air Permeability of Softwoods Imported from the Russian Far East<sup>1</sup>

Woo-Kuen Jee<sup>2</sup> · Gyu-Hyeok Kim<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Air permeabilities for both sapwood and heartwood of the three softwoods (*Picea jezoensis*, *Larix gmelini*, *Pinus sylvestris*), imported from the Russian Far East, in the three different structural directions were measured using steady-state rotameter method. After measuring permeability, the liquid absorption into the longitudinal permeability specimens was measured, and then related with the measured permeability. The longitudinal permeability was overwhelmingly greater than the transverse permeability, with the radial direction showing higher permeability than the tangential direction. There appear to be species differences in permeability of the three softwoods. The mean longitudinal sapwood permeability of *P. jezoensis* (3.300darcy) and *P. sylvestris* (3.028darcy) were considerably greater (ca. 25times) than that of *L. gmelini* (0.134darcy). Also the average longitudinal heartwood permeability of *P. jezoensis* (0.300darcy) was about 10 times as great as that of *P. sylvestris* (0.029darcy) and *L. gmelini* (0.024darcy). The average calculated radius of pit openings in the heartwood was 0.101 $\mu$ m for *L. gmelini*, 0.152 $\mu$ m for *P. sylvestris* for, and 0.703 $\mu$ m for *P. jezoensis*. Heartwood permeability increases with the increase in radius of pit pore and the decrease in ring width and in extractive content, even though the correlation between permeability and its affecting factors was dependent on species. However, there was an inverse relationship between specific gravity and permeability, showing poor correlation between them. The correlation between air permeability and liquid retention was fairly high, so it was revealed that prediction of liquid absorption into the wood by using permeability was feasible.

**Keywords** : Air permeability, liquid absorption, *Picea jezoensis*, *Larix gmelini*, *Pinus sylvestris*, Russian Far East

\*1 접수 1996년 8월 21일 Received August 21, 1996

본 연구는 1995년도 한국과학재단 연구비 (과제번호: 951-0607-069-1) 지원에 의한 결과의 일부임.

\*2 고려대학교 자연자원대학 College of Natural Resources, Korea University, Seoul 136-701, Korea

# 1. 서 론

土木이나 外裝 建築用材로서 새로운 樹種의 사용 적합성을 판정하기 위해서는 그 수종의 物理·力學의 性質 뿐만 아니라 방부제 處理度(treatability)에 대한 조사가 필요하다. 그러나 방부제 처리도는 목재를 직접 처리함에 의해서만 정확히 결정할 수 있기 때문에 종종 처리도와 직·간접적으로 관련이 있으면서도 측정이 신속·용이한 목재의 透過性(permeability)을 평가함에 의해 처리도를 간접적으로 예측한다. 투과성은 壓力傾斜下에서 孔隙性 고체를 통한 유체 流動의 容易度를 의미하는데, 이는 正常狀態의 유동을 기술하는 Darcy의 법칙에 의해 기술된다. 실제적으로 목재 내에서 발생하는 유동은 유동률이 시간과 공간에 대해서 불규칙한 非正常狀態의 유동이나, 이를 기술하는 것은 매우 복잡하므로 몇 가지 假定을 설정함으로써 정상상태의 유동에 의하여 간접적으로 기술한다. 지금까지 수종의 처리도를 정상상태의 투과성을 이용하여 예측하기 위한 연구들이 많이 수행되어 왔는데, 그 결과들을 종합해 보면 측정된 투과성과 실제 처리도 간의 相關이 비교적 양호한 것으로 나타나고 있다 (Tesoro et al., 1966; Siau & Shaw, 1971; Joslyn 1972; Choong et al., 1974; Perng et al., 1985).

自國 수종들의 처리도에 대해 이미 상당한 연구 결과가 축적된 미국, 캐나다, 뉴질랜드 등에서 도입되는 수종들(예를 들어 Douglas-fir, western hemlock, radiata pine 등)을 제외하고는 현재 국내에 도입되는 수종들의 처리도에 대한 정보는 극히 부족한 상태이다. 따라서 현재 국내에 도입되고 있는 수종들과 향후 해외 원목 도입선의 多變化 정책에 의해 세계 도처로부터 수입될 다양한 수종들의 신속한 처리도 판정을 위해서는 이러한 투과성에 대한 연구가 국내에서도 반드시 필요하다고 본다. 참고로 외국의 경우에도 자국의 저(또는 미)이용 수종이나 외국으로부터 새로이 도입되어 사용되는 수종들에 대해서는 처리도를 판정하기 위한 방편으로 반드시 투과성에 관한 연구가 우선 수행되고 있다(Hofmann, 1986; Pendlebury, 1990).

본 연구는 향후 토목 및 건축용재로 그 수입량이 증가 하리라 예상되는 北洋 가문비나무(*Picea jezoensis*), 낙엽송(*Larix gmelini* 또는 *L. dahurica*), 그리고 적송(*Pinus sylvestris*)의 空氣 투과성 평가 및 투과성과 액체 흡수량간의 관계에 관한 연구로서 방부제 처리도에 관한 자료가 全無하다시피한 북양 침엽수재 이용의 기초 자료를 제공하기 위하여 실시되었다.

# 2. 재료 및 방법

## 2.1 試驗片의 製作

국내에 수입된 공시수종들의 통직한 원목들을 시중에서 구입하였는데, 각 공시 원목들의 일반적인 특성은 Table 1과 같다. 원목의 原口부분에서 두께 4cm의 수축방향 투과성 시편 채취용 圓板 3개와 두께 10cm의 횡단방향(방사 및 접선방향) 투과성 시편 채취용 원판 1개를 횡질단에 의해 준비하였다. 준비된 원판들로부터 최종 투과성 시편의 채취 과정은 Fig. 1에서 보여 주는데, 모든 시편은 변·심재별로 구분하여 채취하였다. 수축방향 시편은 수축방향 투과성의 임목내 방사방향 변이를 고려하여 심재의 내부(隨로부터 2cm 떨어진 곳), 중부(내부와 외부 시편 채취의 중간부위), 외부(심재 최외각), 그리고 변재부의 네 위치에서 채취하였다. 최종 원통형 시편은 내경 12mm인 plug cutter를 장착한 press drill을 이용하여 채취한 후, 투과성이 측정될 장소에 측정시까지 보관하여 기건시켰다. 낙엽송과 적송은 양자간의 색 차이에 의해 변·심재를 육안으로 구분하였고, 색 차이에 의한 변·심재간 육안 구분이 불가능한 가문비나무의 경우는 물 분무에 의해 함수율이 상승된 원목의 횡단면에 水性 펜을 이용하여 방사방향으로 선을 그었을 때 함수율이 높은 변재부의 선이 함수율이 낮은 심재부의 선보다 많이 번지는 현상을 이용하여 변재와 심재를 구분하였다(Coggins, 1981).

함수율 조절이 끝난 후, 시편을 90% 에탄올에 12시간 침지하여 軟化시키고 sliding microtome을 이용하여 시편의 최종 길이가 수축방향 투과성 시편은 30mm, 그리고 횡단방향 시편은 2mm가 되도록 양쪽 끝을 절삭하였는데, 이 때 절삭면이 투과성 측정시 공기의 유동방향과 직각이 되도록 주의하였다. 수축방향 투과성 시편의 길이가 20mm이상이어야만 목재조직의 구조 차이로 인한 투

Table 1. Description of sample logs of test species<sup>1</sup>.

Species	Age (years)	Diameter (cm)	Growth rate <sup>2</sup> (rings/cm)	Percent heartwood
<i>Picea jezoensis</i>	128	31	4.1	73.3
<i>Larix gmelini</i>	185	27	6.7	93.3
<i>Pinus sylvestris</i>	126	26	4.8	81.5

<sup>1</sup> All values average ones of three logs.

<sup>2</sup> Tree age divided by diameter at breast height.

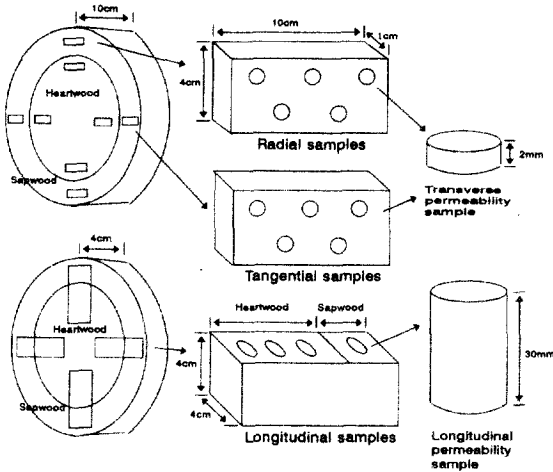
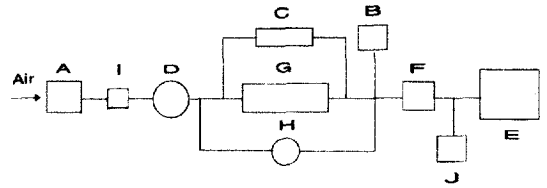


Fig. 1. Procedure for permeability sample preparation.

과성 변이를 최소화할 수 있다고 한 Booker(1977)의 보고에 따라 본 실험에서는 수축방향 측정용 시편의 길이를 30mm로 하였다. 또한 횡단방향 시편은 횡단방향 투과성이 대단히 낮은 관계로 길이를 2mm로 하였다.

## 2.2 透過性 測定裝置 製作 및 透過性 測定

Fig. 2는 본 연구에서 제작된 투과성 측정장치의 간단한 설계도를 보여주는데, 측정장치의 각 부분을 살펴보면, 壓力計(B)와 (C)는 압력 측정범위가 각각 0~350mm Hg와 0~700mmHg인 水銀압력계로서 압력계(B)는 시편 내 공기유동의 추진력인 진공펌프(E)에 걸리는 압력(減壓度)을 측정하기 위한 것이고, 압력계(C)는 공기 유동시 시편의 양단간에 형성되는 압력 차를 측정하기 위한 것이다. 시편내 공기의 유동량을 측정하는 유량계(A)는 단위시간당 시편내를 통과하는 공기의 양을 측정하는 것으로서 투과성이 높은 변재부를 측정할 경우에는 동일 압력 하에서도 심재부에 비하여 시편 내로 유입되는 공기의 양이 많기 때문에 측정범위가 2~300cc/min로 큰 유량계를 사용하였고, 반면에 투과성이 낮은 심재부의 투과성을 측정할 경우에는 시편내로 유입되는 공기의 양이 적기 때문에 측정 범위가 0.03~15cc/min로 작은 유량계를 사용하였다. 그리고 air reservoir(J)는 진공펌프에서 걸린 압력을 유량 측정이 끝날 때까지 일정하게 유지시켜주는 역할을 하는데, 이는 시편 내로 공기가 유입되면서 초기에 걸린 진공상태가 서서히 풀리는 것을 방지해 주기 위해 장치하였다. Needle valve(D)와 (F)는 각각 시편 내로 유동되는 공기의 양을 조절하는 역할과 진



- |   |                    |
|---|--------------------|
| A: micro-flowmeter                          | E: vacuum pump     |
| B: mercury monometer, vacuum pressure end   | F: needle valve    |
| C: mercury monometer, differential pressure | G: specimen holder |
| D: needle valve                             | H: bypass valve    |
|   | I: air filter      |
|   | J: air reservoir   |

Fig. 2. Apparatus for permeability measurement.

공펌프에서 걸리는 압력의 정도를 조절하기 위해 장치하였다. 시편이 장착되는 sample holder(G)는 高壓에 견딜 수 있도록 內徑이 10mm이고 外徑이 14mm인 耐壓 고무관을 사용하였다. 고무관 내의 시편은 다시 죄임쇠(screw clamp)로 완벽하게 조여줌으로써 공기가 시편을 통해서만 유동되도록 하였다. 공기 淨化器(I)는 시편 내로 공기와 함께 유입되어 시편내의 공기 유동통로인 미세공극 구조를 봉쇄하여 투과성을 저하시킬 수 있는 공기내 미세 먼지를 제거하기 위해 사용되었으며, bypass valve(H)는 시편 양단간의 압력 차를 유도하기 위해 설치하였다. 그리고 이러한 각 부품들은 진공 상태에서도 잘 견딜 수 있는 taflon tube(내경:4mm, 外徑:6mm)를 이용하여 연결시켰으며 taflon tube간의 연결은 taflon valve를 이용하였다.

제작된 투과성 측정장치를 이용하여 시편의 한 면에 20 mmHg의 진공을 걸어주었을때 발생하는 단위시간당 공기 유동량(Q), 시편 양단간의 압력차(ΔP), 시편내 평균압력(mP)를 측정하고, 이들을 다음의 식(1)에 대입하여 공기 투과성(K<sub>g</sub>)을 계산하였다.

$$K_g = \frac{P \times Q \times L}{A \times \Delta P \times mP} \dots \dots \dots (1)$$

- 여기서, P = 측정시 대기압(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> · Pa · s)  
 L = 공기 유동방향으로 시편의 길이(m)  
 A = 공기 유동방향과 직각인 시편의 횡단면적(m<sup>2</sup>)  
 mP = P + ΔP/2(Pa)

## 2.3 心材部の 微細孔隙 半徑과 單位面積當 孔隙數 測定

20mmHg부터 250mmHg까지의 7단계 압력(20, 80,

100, 120, 150, 200, 250mmHg)을 적용하여 측정된 심재부 시편의 수축방향 투과성으로부터 Fig. 3에 보여주는 것과 같은 Klinkenberg plot을 도식하고, 이로부터 미세공극의 반경과 단위면적당 이들의 수를 측정하였다. 각 압력단계에서 측정된 평균 압력의 역수(1/mP)를 獨立變數로, 그리고 공기투과성( $K_g$ )을 從屬變數로 하는 직선회귀식의 절편(K)과 기울기( $K_b$ )를 다음의 식(2)에 대입하여 미세공극의 반경(r)을 계산하였다. 또한 단위면적당 미세공극의 개수(n)는 위에서 구한 미세공극 반경을 다음의 식(3)에 대입하여 계산하였다. 한편 미세공극의 반경과 단위면적당 이들의 개수를 구하기 위해서 cc인자(combined Couette and Clausing factor)와 眞투과성(true permeability:  $K_{ip}$ )을 계산해야 하는데, 여기서 cc인자는 미세공극의 반경을 구할 때 곱해주는 보정치로서 공기 유동통로인 미세공극의 길이가 매우 짧은 관계로 미세공극의 끝에서 발생하는 유동저항에 대한 보정(Couette 보정)과 통로 내에서의 slip 유동의 감소에 대한 보정(Clausing 보정)을 의미한다(Siau, 1984). Hofmann(1986)은 미세공극의 길이(L)를 0.1 $\mu$ m, 그리고 미세공극의 반경을 1~5 $\mu$ m로 간주하면 cc인자는 0.45~0.46이 된다고 발표했는데, 본 연구에서는 cc인자를 0.45로 하여 식(2)에 의해 계산된 미세공극의 반경을 보정하였다. 또한 진투과성( $K_{ip}$ )은 전적으로 미세공극을 통해 유동하는 공기의 투과성으로 다음의 식(4)에 의해 계산하였는데, 이 때 막막의 두께( $L_p$ )는 0.1 $\mu$ m로 하였으며 0.3으로 간주하여 계산하였다(Siau, 1984). 그리고 공시수종들의 가도관의 길이( $L_c$ )는 姜等(1990, 1991)이 보고한 실제 측정치를 사용하였다.

$$r = 4 \times 10^4 \times \frac{\text{intercept}(K)}{\text{slope}(K_b)} \quad \dots\dots(2)$$

$$n = \frac{8 \times \eta \times K_{ip}}{\pi \times r^4} \quad \dots\dots(3)$$

여기서,  $\eta$  = 공기의 점도

$$K_{ip} = K \times \frac{L_p}{L_c(1-\alpha)} \quad \dots\dots(4)$$

## 2.4 吸收量 測定

수축방향 투과성 측정이 끝난 후 시편을 중앙부에서 횡절단하여 1개의 투과성 시편으로부터 2개의 흡수량 측정용 시편을 제작하였다. 두 개의 시편 중 하나는 횡단면을

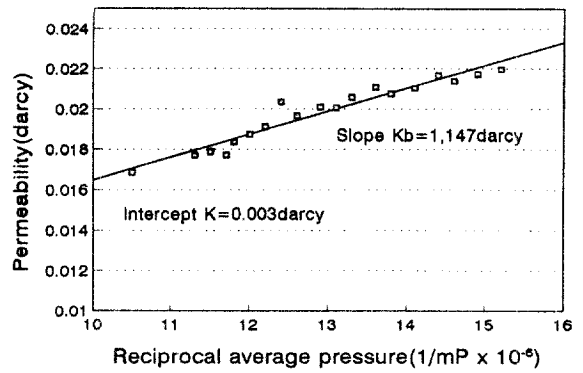


Fig. 3. Typical Klinkenberg plot for *L. gmelini* heartwood.

外裝用 防水塗料인 에폭시 도료로 end-coating하여 횡단면을 통한 액체의 침투를 막았고, 나머지 하나는 end-coating을 하지 않고 횡단면으로의 침투도 가능하게 하였다. 횡단면이 coating된 그룹과 coating되지 않은 그룹을 다시 두 그룹으로 나누어서 한 그룹은 水溶性 약제의 溶劑인 물 흡수량 측정에 사용했고, 나머지 한 그룹은 油溶性 약제의 용제인 輕油 흡수량 측정에 사용하였다. 시편을 용제에 침지하기 전에 시편의 原重量( $W_0$ )과 체적(V)을 측정하고 물과 경유에 침지하였는데, 물 침지는 500mmHg의 감압 조건하에서 5분간 실시되었고 경유 침지는 500mmHg의 감압조건하에서 1분간 실시되었다. 감압 주입이 종료되면 진공을 풀고 시편을 상압 조건에서 5분간 유지시킨 후 시편의 표면을 부드러운 형질로 닦아 내고 시편의 침지후 중량( $W_s$ )을 측정하여 다음의 식(5)에 의하여 용제 흡수량을 측정하였다.

$$R(g/cc) = \frac{W_s - W_0}{V} \quad \dots\dots(5)$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 樹軸方向 透過性

Table 2는 수종별 심재 및 변재의 수축방향 투과성을 보여주는데, 세 수종간의 투과성 차이를 一目瞭然하게 볼 수 있도록 투과성을 심재와 변재별로, 그리고 심재와 변재를 한데 묶어서 Fig. 4에 나타냈다. 심재 세 부위의 평균 투과성은 가문비나무(0.300darcy), 적송(0.029darcy), 그리고 낙엽송(0.024darcy) 순으로 가문비나무가 적송과 낙엽송에 비하여 투과성이 약 10~13배 정

Table 2. The mean values of longitudinal permeability at different radial positions by species .

Species	Position <sup>1</sup>	Specific gravity	Ring width (mm)	Alcohol-benzene extractives (%)	Permeability <sup>2</sup>			
					Range	Mean (darcy)	STD <sup>3</sup>	
<i>Picea jezoensis</i>	Heartwood							
	H1	0.38	1.09	1.13	0.094~0.391	0.236 A*4	0.116	
	H2	0.41	0.60	1.03	0.182~0.488	0.336 A	0.089	
	H3	0.42	0.48	0.93	0.235~0.439	0.326 A	0.069	
	Avg.	0.40	0.72	1.03	—	0.330	—	
	Sapwood		0.39	1.09	0.79	1.334~5.694	3.300 B	1.201
<i>Larix gmelini</i>	Heartwood							
	H1	0.47	1.33	1.60	0.018~0.027	0.023 A	0.003	
	H2	0.47	0.86	1.15	0.019~0.034	0.025 A	0.005	
	H3	0.49	0.67	1.06	0.020~0.026	0.024 A	0.002	
	Avg.	0.48	0.95	1.27	—	0.024	—	
	Sapwood		0.45	0.50	0.49	0.099~0.209	0.134 B	0.041
<i>Pinus sylvestris</i>	Heartwood							
	H1	0.32	3.00	2.01	0.011~0.034	0.024 A	0.007	
	H2	0.34	1.71	1.99	0.019~0.026	0.024 A	0.002	
	H3	0.35	2.00	1.73	0.024~0.097	0.045 A	0.030	
	Avg.	0.34	2.24	1.91	—	0.029	—	
	Sapwood		0.34	0.57	0.98	2.856~6.237	3.028 B	1.258

\*1 H1, H2, and H3 are inner-, middle- and outer position of heartwood, respectively.

\*2 The values are measured at the pressure of 20mmHg.

\*3 STD represents standard deviation.

\*4 Mean values followed by the same letter are not significantly different ( $\alpha < 0.05$ ) using Duncan's multiple range test.

도 높았다. 적송과 낙엽송간의 투과성 차이는 통계학적으로 유의성( $\alpha < 0.05$ )이 인정되지 않았지만, 이들도 가문비나무의 투과성과는 유의성이 인정되는 차이를 보였다. 반면에 변재 투과성은 가문비나무(3.300darcy), 적송

(3.028darcy), 그리고 낙엽송(0.134darcy) 순으로 가문비나무와 적송의 투과성이 낙엽송에 비하여 각각 약 25배와 23배 높았다. 가문비나무와 적송의 변재부 투과성 차이는 서로간에 통계학적인 유의성이 인정되지 않았으나, 이들도 낙엽송의 투과성과는 통계학적으로 유의성이 존재하는 차이가 인정되었다. Bao 등(1986)이 심·변재 구별이 확실치 않은 滿洲産 가문비나무(*Picea jezoensis*)의 수축방향 투과성을 0.045darcy라고 보고하였는데, 이는 본 연구의 가문비나무 심재부 투과성 보다 약 7배 낮게 나타났다. 동일한 수종이지만 만주산과 북양 가문비나무간의 이러한 투과성 차이는 生育地가 다른 관계로 발생하는 양자간 투과성 영향인자의 차이에 기인한다고 사료된다. 그리고 Smith와 Lee(1958)는 구주적송(*Pinus sylvestris*) 심재와 변재의 투과성을 각각 4.159darcy와 0.0379darcy, 그리고 본 연구의 공식 낙엽송과는 種名이 상이한 유럽 낙엽송(*Larix decidua*) 심재의 투과성을 0.0289darcy라고 보고하였는데, 이는 본 연구에서 측정

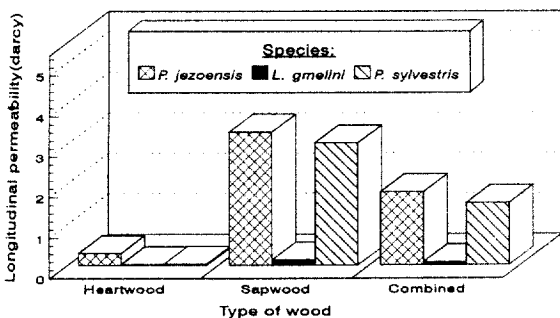


Fig. 4. Comparison of longitudinal permeability by species.

Table 3. The mean values of transverse permeability (darcy) by species<sup>1</sup>.

	<i>Picea jezoensis</i>		<i>Larix gmelini</i>		<i>Pinus sylvestris</i>	
	Heartwood	Sapwood	Heartwood	Sapwood	Heartwood	Sapwood
Radial permeability						
Range	0.0006~0.0018	0.0051~0.0224	0.0003~0.0007	0.0017~0.0087	0.0001~0.0018	0.0019~0.0086
Mean	0.0013	0.0150	0.0004	0.0046	0.0013	0.0052
STD <sup>2</sup>	0.0003	0.0057	0.0001	0.0023	0.0005	0.0023
Tangential permeability						
Range	0.0005~0.0016	0.0018~0.0045	0.0001~0.0003	0.0008~0.0048	0.0006~0.0012	0.0006~0.0024
Mean	0.0010	0.0024	0.0002	0.0018	0.0008	0.0013
STD	0.0004	0.0008	0.0001	0.0011	0.0001	0.0005

<sup>1</sup> The permeability was measured at the pressure of 20mmHg.

<sup>2</sup> STD is standard deviation.

한 적송 및 낙엽송 투과성과 비슷하였다.

지금까지의 투과성에 관한 많은 연구결과들과 마찬가지로 본 연구에서도 변재부 투과성이 가문비나무의 경우는 약 11배, 낙엽송의 경우는 약 6배, 그리고 적송의 경우는 약 105배 심재부 투과성보다 높게 나타났는데, 이러한 변·심재간의 투과성 차이 역시 통계학적인 유의성 ( $\alpha < 0.05$ )이 인정되었다(Table 2). Erickson(1970)은 이러한 변·심재부간의 투과성 차이를 양자간의 膜孔閉鎖의 정도와 抽出物 함량 차이에 기인한다고 보고하였다. 본 연구에서는 공시수종들의 변·심재간 막공폐쇄의 정도 차이는 관찰하지는 않고 단지 변·심재간의 투과성 차이를 추출물 함량차이 측면에서 살펴보았다. Table 2에서 보는 바와 같이 세 수종 공히 변재부의 추출물 함량이 심재부보다 낮게 나타나서 이러한 추출물 함량의 차이가 변·심재간 투과성 차이의 한 원인이 됨을 알 수 있었다.

각 수종의 심재 부위별 수축방향 투과성 변이를 살펴보면, Table 2에서 볼 수 있듯이 낙엽송을 제외하고는 변재부와 인접한 심재 외부의 투과성이 심재 내부의 투과성보다 높았으나 통계학적인 유의성은 인정되지 않았다. 이와 같이 부위에 따라 투과성 차이를 보이는 원인은 부위별로 투과성을 영향하는 비중, 추출물 함량, 연륜폭에 따른 하재율, 그리고 미세공극의 상태가 서로 다르기 때문이다.

### 3.2 橫斷方向 透過性

Table 3은 수종별 심재 및 변재의 횡단방향 투과성을 보여준다. 그리고 세 수종간의 투과성 차이를 일목요연하게 볼 수 있도록 투과성을 심재와 변재별로, 그리고 심재와 변재를 한데 묶어서 Fig. 5에 나타냈다. 수축방향 투과성의 경우와 마찬가지로 추출물 함량 차이로 인해 세 수종 공히 변재부 투과성이 심재부보다 높게 나타났는데,

t-검정 결과 유의성이 인정되는 양자간의 투과성 차이가 있었다.

방사 및 접선방향 투과성은 심재의 경우 가문비나무와 적송이 낙엽송에 비하여 각각 약 3배와 5배 정도 높았다.

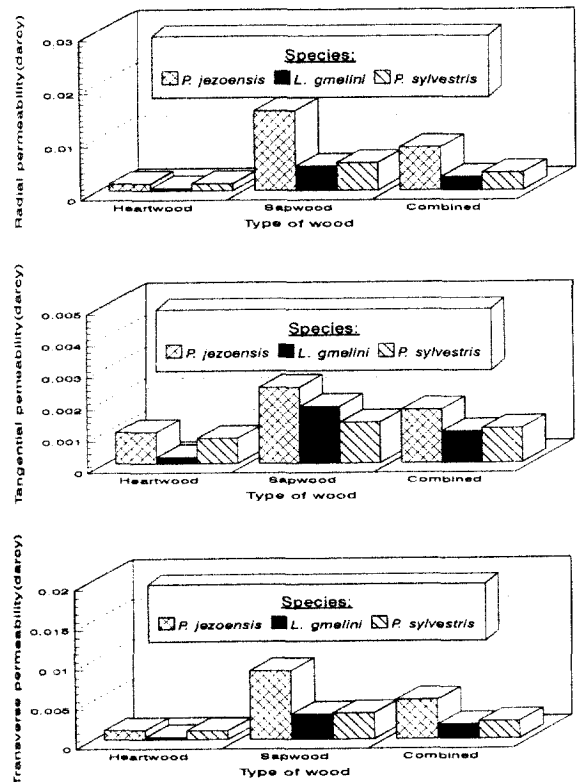


Fig. 5. Comparison of transverse permeability by species.

그러나 변재의 경우는 방사방향 투과성은 가문비나무와 적송이 낙엽송에 비하여 약 3배 높았으나, 접선방향 투과성은 가문비나무, 낙엽송, 그리고 적송의 순이었는데 가문비나무가 적송보다 투과성이 약 2배 높았다. 변재부와 심재부에서 모두 방사방향 투과성이 접선방향 투과성보다 높게 나타났는데, Choong과 Fogg (1969)도 미국 남부 송을 대상으로 한 횡단방향 투과성 실험에서 변재부와 심재부에서 공히 방사방향 투과성이 접선방향 투과성보다 높게 나타남을 보고하였다. 또한 이와 동일한 결과를 Comstock(1970)과 Milota 등(1995)도 보고하였다. 방사 및 접선방향간에 투과성 차이는 兩 방향간 목재조직의 구조적 차이에서 기인하는데, Choong과 Fogg(1968), 그리고 Siau(1984)는 방사방향으로는 유동통로 역할을 할 수 있는 방사조직(방사가도관 및 방사유세포)과 수평수지구가 존재하나 접선방향으로는 이러한 통로를 제공할 수 있는 조직이 존재하지 않는다고 하였다. 방사방향과 접선방향간의 투과성 차이를 t-검정에 의해 조사한 결과, 가문비나무의 심재부를 제외하고는 모두 통계학적으로 유의성이 인정되었다. 가문비나무 심재부에서 양 방향 투과성간에 유의성 있는 차이가 존재하지 않은 이유는 심재화 과정에서 생성된 추출물이 방사가도관 내강에 축적되어 방사방향 세포들이 유동통로로서의 역할을 충분히 하지 못하는데 있다고 사료된다(Baines & Saur, 1985).

Table 4는 삼방향별 투과성의 비율을 접선방향 투과성을 기준으로 하여 나타낸 것인데, 세 수종 공히 수축방향 투과성은 횡단방향 투과성보다 높고, 또한 방사방향 투과성도 접선방향 투과성보다 약간 높음을 알 수 있다. 수축방향 투과성은 접선방향 투과성보다 39배에서 2,970배까

Table 4. Ratio of longitudinal, radial, and tangential permeability values measured at the pressure of 20mmHg.

Species	L : R : T ratio (Mean values)	Extreme range <sup>1</sup>
<i>P. jezoensis</i>		
Heartwood	300 : 1.3 : 1	976 : 1
Sapwood	1,380 : 6.3 : 1	3,163 : 1
<i>P. sylvestris</i>		
Heartwood	39 : 1.6 : 1	162 : 1
Sapwood	2,970 : 4.0 : 1	10,395 : 1
<i>L. gmelini</i>		
Heartwood	120 : 2.0 : 1	340 : 1
Sapwood	75 : 2.6 : 1	261 : 1

<sup>1</sup> Ratio of highest longitudinal permeability to lowest tangential permeability observed.

지, 그리고 방사방향 투과성은 접선방향 투과성에 비해 1.3배에서 6.3배까지 높았다. 횡단방향에 대한 수축방향 투과성 비율이 Choong 등(1974)이 보고한 활엽수에서의 그 비율보다 상당히 낮은데, 그 이유는 활엽수의 도관과 비교할 때 수축방향 유동의 주 통로인 침엽수 가도관의 매우 낮은 투과성 때문이다. Perng(1980)과 Siau(1984)도 목재내 기체 투과성은 수축방향, 방사방향, 그리고 접선방향의 순으로 높다고 하였는데, 이는 각 방향별 목재조직의 구조적 차이와 미세공극의 상태 차이에 기인한다고 하였다. 또한 Comstock(1970)도 삼방향별 목재조직의 구조적 형태, 세포들의 배열형태, 그리고 목재 내에서 이러한 조직들의 기능이 서로 상이하기 때문에 삼방향별 투과성에 차이를 보인다고 기술했다.

### 3.3 心材의 微細空隙 構造의 測定

Table 5는 공시수종들의 심재 부위별 미세공극의 반경과 단위면적당 이들의 수를 보여준다. 미세공극의 평균 반경은 가문비나무(0.703 $\mu$ m), 적송(0.152 $\mu$ m), 그리고 낙엽송(0.101 $\mu$ m) 순으로 컸으나, 단위면적당 미세공극의 수는 식(3)에서 볼 수 있듯이 미세공극 반경의 4제곱에 반비례하므로 낙엽송, 적송, 그리고 가문비나무 순으로 많았다. 이상과 같이 단위 면적당 미세공극의 개수

Table 5. The mean values of pit-pore radius and numbers per unit area for heartwood by species.

Species	Position <sup>1</sup>	Radius ( $\mu$ m)	Numbers (10 <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )
<i>P. jezoensis</i>	H1	0.227 $\pm$ 0.028 A	4,945 $\pm$ 2,378
	H2	0.551 $\pm$ 0.105 B	484 $\pm$ 332
	H3	1.331 $\pm$ 0.242 C	18 $\pm$ 12
	Avg.	0.703	1,815
<i>L. gmelini</i>	H1	0.097 $\pm$ 0.016 AB	5,083 $\pm$ 2,468
	H2	0.079 $\pm$ 0.023 A	17,796 $\pm$ 14,555
	H3	0.128 $\pm$ 0.023 B	4,004 $\pm$ 1,922
	Avg.	0.101	8,961
<i>P. sylvestris</i>	H1	0.111 $\pm$ 0.047 A	11,550 $\pm$ 7,590
	H2	0.096 $\pm$ 0.006 A	11,175 $\pm$ 3,626
	H3	0.250 $\pm$ 0.039 B	639 $\pm$ 267
	Avg.	0.152	7,788

<sup>1</sup> H1, H2, and H3 are inner-, middle- and outer position of heartwood, respectively.

<sup>2</sup> Means values followed by the same letter are not significantly different ( $\alpha$ 0.05) using Duncan's multiple range test.

는 미세공극 반경에 대단히 큰 영향을 받게 되는데, white spruce(*Picea glauca*)의 단위면적당 이들의 개수가 미세공극 반경이 1.25 $\mu\text{m}$ 에서 2.3 $\mu\text{m}$ 으로 증가함에 따라 62,000/cm<sup>2</sup>에서 1.8/cm<sup>2</sup>로 큰 차이를 보이며 감소했다는 Sebastian 등(1965)의 연구 결과에서도 이를 확인할 수 있었다. 따라서 미세공극 단위면적당 개수는 미세공극 반경의 크기에 따라 그 변이가 크며, 각 수종의 절대적인 미세공극의 개수라고 할 수는 없다(Siau, 1984).

### 3.4 比重, 年輪幅, 抽出物 含量, 그리고 微細孔隙構造가 透過性に 미치는 影響

수축방향 투과성의 방향방향 변이를 비중과 연관시켜 연구한 Isaacs 등(1971)은 일반적으로 비중과 투과성은 반비례하는 경향이 있으나 양자간의 상관은 별로 우수하지 못하다고 보고하였다. 본 연구에서도 비중과 심재 부위별 투과성간에는 반비례하는 경향을 보였지만 상관은 매우 낮은 것으로 나타났다. 비중이 공극률과 직접적인 관련이 있기 때문에 비중이 직접적으로 투과성을 영향하리라 생각할 수 있으나, 비록 공극률이 높다 하더라도 목재내 공극들이 연속적으로 연결되어 있지 않을 경우에는 투과성이 불량해진다.

일개 연륜 내에서도 두꺼운 막공막을 지니고 있는 하재부는 춘재부에 비하여 막공 폐쇄의 정도가 낮기 때문에 하재율이 높을수록 투과성은 양호해진다. 본 연구의 공시 수종의 경우도 연륜폭이 좁을수록 하재율이 높게 나타났는데, 이러한 연륜폭의 차이가 부위별 투과성 차이를 영향하는지를 살펴보았다. 적송의 경우는 연륜폭이 작아질수록, 즉 하재율이 증가할수록 투과성이 증가하는 경향을 보였는데 연륜폭과 투과성간의 직선회귀 결과 상관계수가 0.70으로 나타나서 양자간의 상관이 비교적 우수하였다. 그러나 가문비나무와 낙엽송의 심재 중부와 외부의 연륜폭은 심재 내부의 연륜폭보다 좁은데도 불구하고 투과성이 높지 않았고, 양자간의 상관계수도 각각 0.29와 0.41로 낮게 나타났다. 따라서 심재 부위별 수축방향 투과성 차이는 적송을 제외하고는 연륜폭의 영향을 크게 받는다고 할 수 없을 것이다.

추출물 함량이 투과성에 미치는 영향을 연구한 Perng 등(1985)에 의하면 심재 내부에서 외부로 갈수록 추출물 함량은 감소하고 그에 따라 투과성은 증가한다고 하였다. 본 연구에서도 Table 2에서 볼 수 있는 것처럼 세 수종 공히 심재 내부의 추출물 함량이 심재 외부의 추출물 함량보다 높은 반면 투과성은 추출물 함량이 높은 심재 내부가 낮게 나타남으로써 심재 부위별 투과성의 차이가 부위별 추출물의 함량 차이에 크게 영향을 받을 수 있

었다. 심재 부위별 추출물 함량과 투과성간의 직선회귀 결과, 가문비나무, 낙엽송, 그리고 적송에 있어서 양자간의 상관계수가 각각 0.66, 0.60, 그리고 0.93으로 나타나서 적송의 경우가 추출물 함량의 영향을 가장 많이 받은 것으로 나타났다.

세 수종 공히 미세공극 반경이 큰 심재 외부의 투과성이 미세공극 반경이 작은 심재 내부의 투과성보다 높게 나타났다. 심재 부위별 투과성과 미세공극 반경간의 직선회귀 결과, 양자간의 상관계수가 가문비나무, 낙엽송, 그리고 적송의 경우 각각 0.75, 0.86, 그리고 0.99를 나타나서 투과성은 미세공극의 크기에 상당한 영향을 받을 수 있었다. Hofmann(1986)은 lodgepole pine의 심재부의 미세공극 반경이 3.75 $\mu\text{m}$ 에서 1.29 $\mu\text{m}$ 로 감소함에 따라 투과성이 0.371darcy에서 0.113darcy로 감소한다고 보고하였고, 비록 부위별 미세공극의 크기와 투과성간의 관계를 고찰하지는 않았으나 Bao 등(1986)도 미세공극의 반경이 작은 만주산 가문비나무의 투과성이 반경이 큰 잣나무(*Pinus koraiensis*)의 투과성보다 낮게 나타남을 밝힌 바 있다.

이상을 종합해볼 때, 심재 부위별 수축방향 투과성 차이의 가장 큰 원인은 부위별 미세공극의 반경 차이와 추출물 함량의 차이라고 말할 수 있는데, 투과성에 미치는 영향은 전자가 더 크게 나타났다. 그리고 적송의 경우는 연륜폭의 부위별 변이도 투과성 차이를 어느 정도 영향을 알 수 있었다.

본 연구에서 관찰된 수종간 심재의 수축방향 투과성 차이를 수종간 추출물 함량과 미세공극 반경의 차이와 연관시켜 살펴본 결과, 세 수종의 심재부 평균 추출물 함량은 적송, 낙엽송, 그리고 가문비나무 순으로 나타났고 투과성은 가문비나무, 적송, 그리고 낙엽송의 순으로 높게 나타났다(Table 2). 추출물의 함량이 가장 낮은 가문비나무는 투과성도 가장 높게 나타났으나 낙엽송과 적송의 경우는 추출물 함량과 투과성과는 서로 상반되는 관계를 보여서 추출물 함량이 이들의 투과성에 영향을 크게 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이에 낙엽송과 적송간의 투과성 차이 원인을 미세공극 반경 차이에 의해 살펴보면, 이들 두 수종의 미세공극의 반경은 적송이 낙엽송보다 큰 것으로 나타났고 투과성 역시 적송이 낙엽송보다 높은 것으로 나타남으로써 적송과 낙엽송간의 수축방향 투과성 차이는 미세공극의 차이에서 기인한다고 할 수 있을 것이다(Table 5). 한편 가문비나무의 미세공극은 낙엽송이나 적송보다도 큰 것으로 나타났고 투과성도 세 수종 중 가장 큰 것으로 나타남으로써 가문비나무가 다른 두 수종보다 투과성이 높게 나타난 것은 추출물 함량의 차이와



미세공극 크기 차이에서 그 원인을 찾을 수 있었다.

### 3.5 透過性和 液體 吸收量間的 關係

흡수량과 투과성간의 상관성이 매우 양호하여 간단히 수축방향 투과성을 측정함에 의해 수종의 처리도를 예측할 수 있는 것으로 나타났다(Fig. 6). 특히 횡단면이 end-coating된 시편의 경우는 액체의 목재내 흡수가 횡단방향으로만 발생하였는데도 불구하고 양자간의 상관성이 매우 양호하였다. 이러한 사실은 수축방향 투과성에 의해 처리약제의 대부분이 횡단방향을 통하여 침투하는 실재 처리도의 예측 가능성을 시사해준다. Tesoro 등(1966), Siau와 Shaw(1971), Joslyn(1972), Choong 등(1974), 그리고 Perng 등(1985)도 투과성과 액체 흡수량간의 상관성이 양호하다고 보고하였는데, 투과성과 흡수량간의 상관성이 우수한 이유는 양자 모두 유동통로인 미세공극의 크기와 단위면적당 이들의 개수, 그리고 이들의 상태 등에 의해 영향을 받기 때문이다.

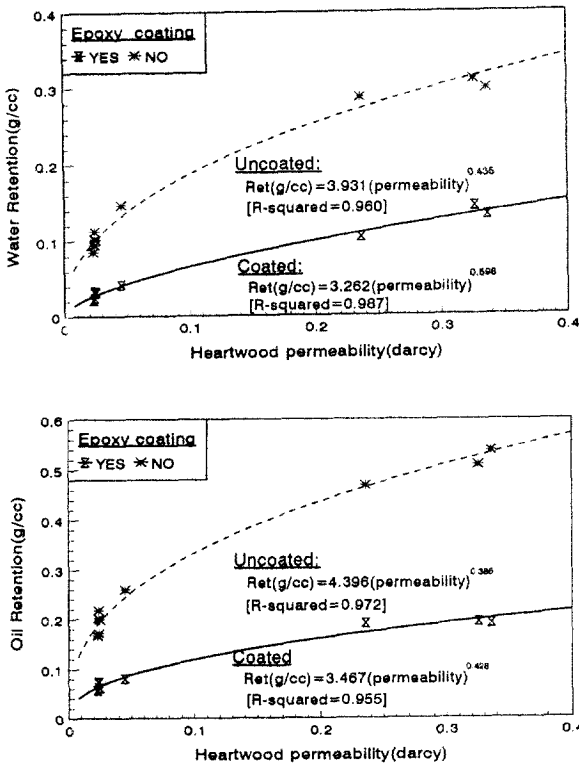


Fig. 6. Regression of water and oil retention for longitudinal permeability of three species.

## 4. 결 론

북양 침엽수 세 수종 (가문비나무, 낙엽송, 적송)의 공기透過性 평가에 관한 본 研究의 결과로부터 다음과 같은 結論들을 내릴 수 있다.

1. 수종과 방향에 관계없이 변재부 투과성이 심재부 투과성보다 높았으며, 모든 수종에서 수축방향, 방사방향, 접선방향의 순으로 삼방향 투과성이 높게 나타났다.
2. 수축방향의 심재 투과성은 가문비나무가 적송과 낙엽송에 비하여 약 10배 높았고, 변재 투과성은 가문비나무와 적송이 낙엽송에 비하여 약 25배 높았다.
3. 방사 및 접선방향의 심재 투과성은 가문비나무와 적송이 낙엽송에 비하여 약 3~5배 높았다. 그러나 변재의 경우 방사방향 투과성은 가문비나무와 적송이 낙엽송에 비하여 약 3배 높았으나, 접선방향 투과성은 가문비나무와 낙엽송이 적송보다 약 2배 높았다.
4. 세 수종의 심재부 미세공극의 평균 반경은 가문비나무, 적송, 그리고 낙엽송의 순으로 나타났다. 그러나 단위면적당 미세공극의 수는 逆으로 낙엽송, 적송, 그리고 가문비나무 순으로 많았다.
5. 수축방향 투과성은 미세공극의 반경, 추출물 함량, 연륜폭에 의해 영향을 받았는데, 그 영향정도는 수종에 따라 상이하였다. 조사된 투과성 영향인자 중에서는 미세공극의 크기가 예상했던대로 투과성을 가장 크게 영향하는 것으로 나타났다. 그리고 비중과 투과성간의 상관관계는 매우 불량하게 나타났다.
6. 수축방향 투과성과 액체 흡수량간의 상관성이 매우 양호하여, 투과성 측정에 의한 목재의 약제 처리도 예측이 가능하였다.

## 참 고 문 헌

1. Baines, E. F. and J. M. Saur. 1985. Preservative treatment of spruce and other refractory wood. *Proceedings. AWPA* 81 : 36~47
2. Bao, F., J. F. Siau, and S. Avramidis. 1986. Permeability and capillary structure of chinese woods. *Wood & Fiber Sci.* 18(2) : 220~227

3. Booker, R. E. 1977. Problems in the measurement of longitudinal sapwood permeability and hydraulic conductivity. *N.Z. J. Forest Sci.* 7(3) : 297~306
4. Choong, E. T. and P. J. Fogg. 1968. Moisture movement in six wood species. *Forest Prod. J.* 18(5) : 66~70
5. Choong, E. T., F. O. Tesoro, and F. G. Manwiller. 1974. Permeability of twenty-two small diameter hardwoods growing on southern pine sites. *Wood & Fiber* 6(1) : 91~101
6. Coggins, C. R. 1981. An investigation of the effects of pre-steaming on the treatment of sawn spruce timber with Celcure A, a copper/chrome/arsenic preservative. The Int. Res. Grp. on Wood Pres. Document No: IRG/WP/3150
7. Comstock, G. L. 1970. Directional permeability of softwoods. *Wood & Fiber* 1 : 283~289
8. Erickson, H. D. 1970. Permeability of southern pine wood. *Wood Sci.* 2(3) : 149~158
9. Hoffman, K. 1986. Logitudinal air permeability of lodgepole pine. M.S. thesis. VPI & SU., Blacksburg, Va., USA : 1~89
10. Isaacs, C. P., E. T. Choong, and P. J. Fogg. 1971. Permeability variation within a cottonwood tree. *Wood Sci.* 3(4) : 231~237
11. Joslyn, D. M. 1972. Treatability and longitudinal air permeability of commercial species grown in Chile. M. S. thesis. N. Y. State Univ. College of Forestry at Syracuse University : 1~89
12. Milota, M. R., J. L. Tschernitz, S. P. Ver-rill, and T. Mianowski 1995. Gas permeability of plantation loblolly pine. *Wood & Fiber Sci.* 27(1) : 34~40
13. Pendlebury, A. J. 1990. Preservation characteristics of seven tropical hardwood species from Malaysia. Ph. D. dissertation, University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland
14. Perng, W. R. 1980. Permeability and axial structural variation of short sample. *Mokuzai Gakkaishi* 26(4) : 219~226
15. Perng, W. R., K. I. Brebner, and M. H. Schneider. 1985. Aspenwood anatomy and fluid transport. *Wood & Fiber Sci.* 17(2) : 281~289
16. Sebastian, L. P., W. A. Cote, and C. Skaar. 1965. Relationship of gas phase permeability to ultrastructure of white spruce. *Forest Prod. J.* 15(3) : 394~404
17. Siau, J. F. and J. S. Shaw. 1971. The treatability of refractory softwoods. *Wood & Fiber* 3(1) : 1~12
18. Siau, J. F. 1984. Transport processes in wood. Springer-Verlag, New York, NY : 73~104
19. Smith, D. and B. Lee. 1958. The longitudinal permeability of some hardwoods and softwoods. Spec. Rep. For. Prod. Res. (London) No. 13 : 13
20. Tesoro, F. O., E. T. Choong and C. Skaar. 1966. Transverse air permeability of wood as an indicator of treatability with creosote. *Forest Prod. J.* 16(3) : 57~59
21. 강선구외 13인. 1990. 북양재의 성질(I) - 잣나무와 4수종의 성질. 임업연구원 연구보고 40 : 29~45
22. 강선구외 10인. 1991. 북양재의 성질(II) - 북양가문비나무와 4수종의 성질. 임업연구원 연구보고 43 : 1~21