

## 杉나무의 春材部와 秋材部の 透濕性\*1

—透濕性の 差異와 透濕率의 推定—

李元熙\*2 · 金炳魯\*3

## Behavior of Moisture Transmission in Earlywood and Latewood for *Cryptomeria japonica*\*1

—Difference of Moisture Transmission Behavior and Calculation of the Vapor Permeability—

Weon-Hee Lee\*2 · Bung-Ro Kim\*3

### ABSTRACT

The amount of moisture transmitted under four different humidity conditions was measured in earlywood and latewood for *Cryptomeria japonica*(LT specimens). The results obtained are summarized as follows. The vapor permeability in earlywood was about three times larger than that of latewood. The vapor permeabilities in earlywood and late-wood depended on the average moisture content of the wood. This indicates that moisture transmission is influenced by vapor permeability or vapor-transmission resistance, but the values obtained by experiments do not have great adaptability for practical situations because of changes in the experimental conditions. Therefore, it is necessary to know the moisture content along the flow direction in order to explain the moisture transmission of wood. The vapor permeability was calculated using the density in air dried wood. These were then compared with the experimental values. The vapor permeabilities calculated with this density in the radial direction(LR specimen) had a good tendency to agree with the experimental values, but not so in tangential direction(LT specimen).

**Keywords:** moisture transmission, earlywood, latewood, vapor permeability, vapor-transmission resistance.

### 1. 緒 論

섬유포화점이하에 있어서 수분은 목재의 세포 벽사이를 결합수의 형태로, 또 세포내강이나 벽공 내의 공극을 수증기의 형태로 확산, 이동한다. 확산의 구동력은 기본적으로 농도기울기에 의한 것

이지만, 결합수의 농도는 단위체적중의 확산분자의 질량이기 때문에 동일함수율의 춘재와 추재에서는 밀도가 높은 추재쪽이 수분농도가 높게 된다. 그러나 추재에서 춘재의 방향으로 수분은 확산하지 않고, 목재의 국소농도가 동일함수율의 춘재와 추재에서는 차이가 없다고 말해지고 있다<sup>1)</sup>.鈴木<sup>2)</sup>

\*1 接受 1992年 8月 17日 Received August 17, 1992.

\*2 경북대학교 농과대학 College of Agriculture, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea.

\*3 충북대학교 농과대학 College of Agriculture, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea.

는 목질재료를 포함한 많은 유기, 무기재료에 대해서 결로의 관찰과 이것에 동반한 재료표면에서의 수분흡수에 관한 실험을 행하였으나, 습기의 투과에 대한 재료의 함수율의존성을 고려하지 않은 점에서 문제가 남아있다. 목재의 반경방향과 접선방향의 투습성은 목재의 구조상 완전히 다른 점이 알려져 있으므로<sup>3)</sup>, 목재의 춘재와 추재에 있어서의 투습성도 다르게 나타날 것으로 생각된다. 여기서는 삼나무를 이용하여 춘재부와 추재부의 투습율의 함수율의존성 유무를 검토하고, 목재의 밀도만에 의한 습기이동량의 추정을 검토, 고찰하였다.

## 2. 材料 및 方法

### 2.1 供試材料

杉나무의 1연륜부에서 직경 70mm의 춘재부와 추재부만으로 된 板目板(LT板材)을 잘라내어 공시재료로 하였다. 삼나무는 통직목리로서 활열에 의해 춘 추재부만의 시편을 얻을 수 있을만큼 섬유주향이 균일하다. 그후 시편을 연마지로 조정하여 활열등의 손상이 전혀 없는 시험편만을 선별하여 공시재료로 하였다. 시험편의 내용을 Table 1.에 나타냈다. 시험체수는 각조건 5개씩 40개이다.

## 2.2 實驗方法

### 2.2.1 透濕率과 透濕抵抗

목재의 투습성은 透濕率(p) 또는 透濕係數(P)로 나타낸다. 일반적으로  $p(g \cdot mm / (h \cdot m^2 \cdot mmHg))$ 와  $P(g / (h \cdot m^2 \cdot mmHg))$ 는 시험편 양측면의 증기압차와 습기이동량을 측정하여 다음 식에 의해 계산된다.

$$Q = P \cdot (f_2 - f_1) \cdot A \cdot t \quad (1)$$

$$Q = p \cdot (f_2 - f_1) \cdot A \cdot t / d \quad (2)$$

단, 여기서 Q는 습기이동량(g),  $f_1$ 과  $f_2$ 는 수증기압차( $f_2 > f_1, mmHg$ ), A는 습기투과단면적( $m^2$ ), d는 시험편의 두께(mm), t는 시간(h)이다.

또 투습저항  $R_v(h \cdot m^2 \cdot mmHg / g)$ 는 다음과 같이 정의되며,

$$R_v = 1 / P \quad (3)$$

多層壁에 있어서 濕氣貫流抵抗<sup>5,6)</sup>은 각 층의 투습저항의 합으로서 구할 수 있다.

$$R_v = R_{v1} R_{v2} + \dots = \sum R_{vi} \quad (4)$$

### 2.2.2 透濕率의 測定方法

실험은 JIS Z 0208의 透濕度 시험방법 규격에 의거하여 행하였으며, 투습컵시험체에 관한 사항

Table 1. Thickness and density of air dried specimens.

RH <sub>i</sub> - RH <sub>o</sub> (%)	Thickness(mm)		Density(g/cm <sup>3</sup> )		N	
	EW	LW	EW	LW	EW	LW
0-55	1.16	0.81	0.219	0.680	5	5
S.D.	0.18	0.10	0.007	0.035		
0-67	1.16	0.70	0.220	0.773	5	5
S.D.	0.09	0.11	0.005	0.054		
0-82	1.08	0.69	0.219	0.677	5	5
S.D.	0.04	0.16	0.008	0.056		
0-88	1.20	0.84	0.218	0.668	5	5
S.D.	0.20	0.08	0.007	0.052		

- : RH<sub>i</sub> : relative humidity inside of vapor permeation cup.
- RH<sub>o</sub> : relative humidity outside of vapor permeation cup.
- EW : earlywood, LW : latewood, N : number of specimens,
- S.D. : standard deviation.

Table 2. Experimental conditions of the moisture transmission test at 26°C.

$RH_i - RH_o$ (%)	$f_1$ (mmHg)	$f_2$ (mmHg)	EMC(%)
0-55	0	14	10.7
0-67	0	17	12.9
0-82	0	21	15.7
0-88	0	22	16.9

\* : see the note of Table 1.

$f_1$  : water vapor pressure inside of vapor permeation cup,

$f_2$  : water vapor pressure outside of vapor permeation cup,

EMC : equilibrium moisture content.

및 투습율과 투습저항등에 관한 사항은 前報<sup>1)</sup>에 자세히 나타내었다. 시편은 직경 70mm의 원반으로서 측정에 들어가기 전에 無水粒狀염화칼슘을 넣은 데시케이터내에 30일 이상 방치하여 절건상태로 하였다. 우선 투습컵속에 흡습제(무수입상염화칼슘,  $RH_i=0\%$ )를 시편과 1mm의 간격이 유지되도록 채운 후, 그 위에 시편을 얹고 습기투과에 요구되는 이외의 부분은 파라핀 왁스로서 밀봉하였다. 그후 常溫에서 투습컵의 중량을 측정한 후, 온도 및 습도를 설정한 항온항습장치(Tabai WFG Co. Ltd製 PRI-E型)에 넣어 1~24시간마다 시험체를 꺼내어 중량증가량을 측정하였다. 중량은 0.1mg精度전자천평(Sartorius 2442)으로 측정하였고, 중량증가가 흡습제중량의 10%를 넘는 시점에서 측정을 끝내었다. 또한 측정종료시에 시험편을 잘라내어 전건법에 의해 평균함수율을 측정하였다.

### 2.3 測定條件

실험조건은 설정온도 26°C로서, 투습컵내부의 설정습도는 0%, 외부는 55%, 67%, 82%, 88%의 4단계이다. 이때 항온항습실내부의 풍속은 2m/s이며, 실험조건을 Table 2.에 나타내었다.

## 3. 結果 및 考察

### 3.1 透濕率의 含水率依存性

Fig. 1.에 杉나무의 春材部와 秋材部の 투습시

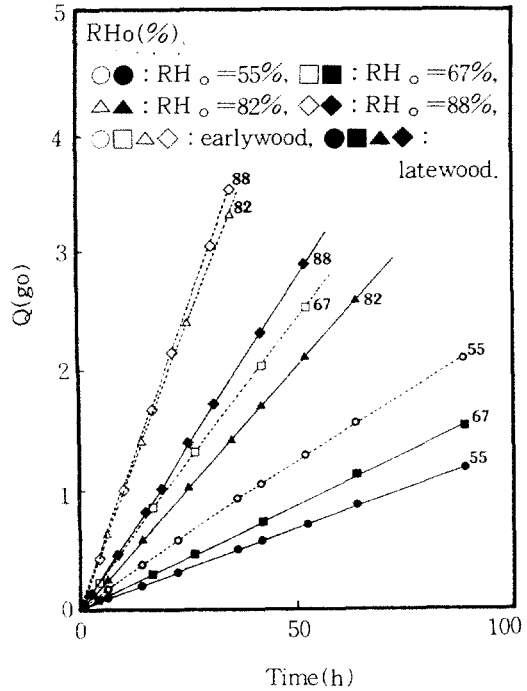


Fig. 1. Permeation curves of specimens of various conditions; the amounts of moisture transmission versus time.

Note : see the note of Table 1.

간과 습기이동양과의 관계를 4가지 습도조건에서 나타내었다. 이 투습곡선으로부터 투습속도는 춘재부가 추재부보다 크고, 상대습도가 높은 쪽이 낮은 쪽보다 더 큰 것을 알 수 있다. 식 (2), (3)으로 계산한 결과를 Table 3.에 나타내었다.

각 조건에 있어서 시편의 밀도와 투습율의 관계를 보면, 먼저 밀도의 평균치는 춘재부가 0.22, 추재부가 0.69로서 약 3배의 차가 보인다. 여기에 대응한 투습율은 춘재부가 0.7~2.0, 추재부가 0.2~0.7로서, 같은 조건에서 투습율은 춘재부가 추재부보다도 약 3배정도 큰 것을 알 수 있다. 투습저항은 조건에 따라 춘재부에서 0.6~1.7이고, 이것은 추재부의 1.2~3.7의 약 절반이하이다. 즉 추재부의 투습저항은 춘재부 투습저항의 약 2배 이상의 범위에 있음을 알 수 있다. 상대습도에 대한 투습율을 보면, 춘재부가 추재부보다 습도에 대한 의존경향이 큰 것에 비해서 추재부에서는 투습율의 변동폭이 보다 작다. Fig. 2에 각 조건에 있어서의

Table 3. Vapor permeability and vapor-transmission resistance for specimens of various conditions.

RH <sub>i</sub> -RH <sub>o</sub> (%)	r <sub>a</sub> (g/cm <sup>3</sup> )		M (%)		p (g·mm/(h·m <sup>2</sup> ·mmHg))		R <sub>v</sub> (h·m <sup>2</sup> ·mmHg/g)	
	EW	LW	EW	LW	EW	LW	EW	LW
0-55	0.219	0.680	7.9	7.1	0.689	0.220	1.68	3.73
S.D.	0.007	0.035			0.050	0.038	0.17	0.55
0-67	0.220	0.773	9.7	9.3	0.981	0.274	1.20	2.56
S.D.	0.005	0.054			0.147	0.030	0.14	0.19
0-82	0.219	0.677	11.7	11.6	1.690	0.509	0.64	1.36
S.D.	0.008	0.056			0.136	0.104	0.04	0.15
0-88	0.218	0.668	12.4	12.2	1.962	0.690	0.61	1.23
S.D.	0.007	0.052			0.123	0.056	0.04	0.12

\* : see the note of Table 1.

r<sub>a</sub> : density in air dry, M : average moisture content, p : vapor permeability,  
R<sub>v</sub> : vapor-transmission resistance.

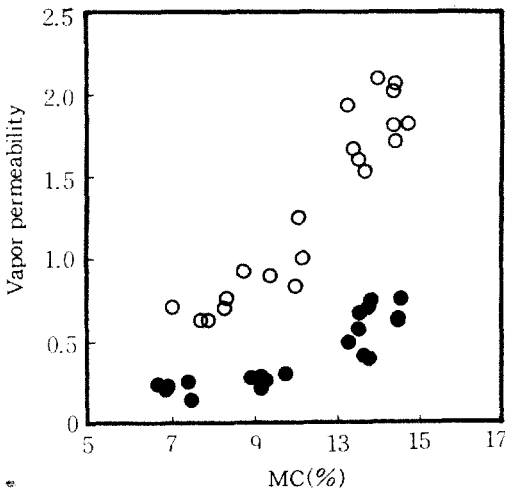


Fig. 2. Vapor permeability versus average moisture content (M).

Note : see the note of Fig. 1.

○ : early wood, ● : late wood.

투습율을 시험편의 평균함수율에 대해서 나타내었다. 투습율은 춘재부와 추재부 모두 함수율의 존재성이 강하게 나타남이 확인되었다. 이상의 결과로부터 투습율은 시험편의 밀도와 평균함수율에 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 그래서 반경방향의 투습율(p)을 춘재부와 추재부에 관계없이 재의 밀도(r<sub>a</sub>)와 평균함수율(M)로서 나타내면 다음과 같다.

$$p = - (0.009 M^{2.3} - 0.051) r_a + 0.075 M^{1.5} - 0.755 \quad (5)$$

투습율이 함수율에 의해 변한다는 것은 투습식의 정의에 위배되는 사항으로서 수증기압경사만으로서 표현하는 것에는 무리가 있으며, 목재의 함수율을 고려해야함을 나타내는 것이라 사료된다.

### 3.2 木材의 密度로부터 推定한 透濕率

이상의 결과로부터 투습저항은 목재의 밀도에 크게 의존함을 알 수 있다. 또한 춘재부와 추재부에 있어서 밀도는 추재부가 약3배 크고, 투습율은 춘재부가 추재부보다 약 3배 크다. 목재의 공극의 구성상태는 같은 수종이므로, 춘재부와 추재부사이의 세공분포에는 차이가 없다고 할 수 있다. Sawabe<sup>2)</sup>는 여러 수종의 춘재부와 추재부세포벽의 공극구조를 조사한 결과, 杉나무의 경우에는 내부표면적은 춘재부가 추재부의 약 4.5배, 흡착량은 약 3.6배를 보임으로서 춘재부가 추재부보다 多孔인 것을 알 수 있다. 이와 같이 춘·추재부사이의 porosity에는 차이가 있으나, 춘·추재부사이의 세포벽의 細孔分布에는 차이가 없음을 분명히 밝히고 있다. 이 사실로부터 목재를 춘재부와 추재부로 구성되는 단순모델로 취급하여 각 부분

에 독립한 투습저항 및 밀도를 부여함으로써 목재 전체의 투습율을 산출할 수 있는가에 대하여 검토하였다. 투습율試算에 이용한 데이터는 文献值<sup>3)</sup>를 참조하였다.

### 3.2.1 木材를 占有하는 春材部와 秋材部の 比率

목재전체의 투습율은 춘재와 추재의 비율에 의해 영향을 받기때문에 이 비율을 산출할 필요성이 있다. 그래서 춘재부와 추재부의 밀도 및 목재전체의 밀도를 이용하여 춘재와 추재의 비율을 다음과 같이 구하였다. 우선 목재전체의 밀도  $r_a$ 는 춘재부의 밀도  $r_e$ , 추재부의 밀도  $r_l$ , 춘재부의 체적  $V_e$ , 추재부의 체적  $V_l$ , 추재의 비율(추재율) PL, 춘재의 비율(춘재율) PE로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_a = \frac{r_l \cdot V_l + r_e \cdot V_e}{V_l + V_e} \quad (6)$$

$$= r_l \cdot \frac{PL}{100} + r_e \cdot \frac{PE}{100} \quad (7)$$

$$\text{단, } PE + PL = 100 \quad (8)$$

따라서 식 (6), (7)로부터 추재율 PL과 춘재율 PE는

$$PE = \frac{r_a - r_l}{r_l - r_e} \times 100(\%) \quad (9)$$

$$PL = 100 - PE(\%) \quad (10)$$

로 표시된다.

### 3.2.2 接線方向의 透濕모델

투습저항은 습기가 통과하는 목재의 두께에 비례하고, 단면적에 반비례한다. 여기서는 투습저항에 영향을 미치는 것으로서 춘 추재율을 이용하여 전기저항에 의거하여 투습저항을 구하였다. 접선방향의 투습을 병렬모델로서 생각하여 Fig. 3과 같이 나타내었다. 따라서 목재의 투습저항( $R_v$ )의 합은

$$\frac{1}{R_v} = \frac{PL}{100} \cdot \frac{1}{R_l} + \frac{PE}{100} \cdot \frac{1}{R_e} = P \quad (11)$$

로 표시되고, 목재의 두께 1mm인 경우는 투습계수 P와 투습율 p는 같은 값이므로 다음식으로도

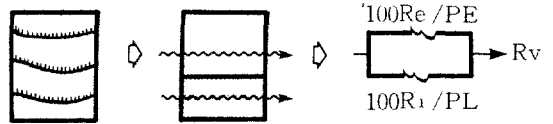


Fig. 3 A parallel model of vapor-transmission resistance.

$R_e, R_l$  : vapor-transmission resistance for early wood and late wood.

나타낼 수 있다.

$$P = \frac{PL}{100} \cdot p_l + \frac{PE}{100} \cdot p_e \doteq p \quad (12)$$

단,  $p_e, p_l$ 는 각각 춘재부와 추재부의 투습율이다.

### 3.2.3 半徑方向의 透濕모델

목재의 반경방향의 투습은 직 병렬모델로서 생각한다. 반경방향의 투습모델은 춘 추재부의 비율에 의해 세가지로 생각할 수 있다. 춘재부와 추재부로 구성되는 단순 직렬모델, 이외 춘재부와 추재부의 투습기여도를 생각할 경우 두가지가 있다. 반경방향의 경우, 연륜계가 완전히 포함되지 않고 또한 춘재부의 기여도가 추재부에 비해서 훨씬 크기때문에 직렬모델보다는 Fig. 4와 같이 춘재부의 비율이 많은 단순화시킨 직 병렬모델로서 계산한다. 그래서 투습저항은

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_e} + \frac{1}{100R_l / PE + 100R_l / PL} + \frac{PE}{100} \cdot \frac{1}{R_e} = P \quad (13)$$

로 표시된다.

### 3.2.4 實驗値와 計算値의 比較

Table 4.에 杉나무의 접선방향과 반경방향의 투습율의 실험치 및 밀도로부터 산출한 계산치를 나

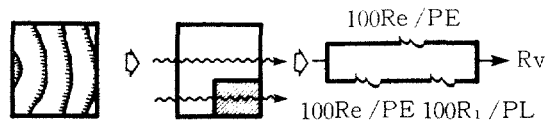


Fig. 4 A series parallel model of vapor-transmission resistance.

$R_e, R_l$  : vapor transmission resistance for early wood and late wood.

Table 4. Comparison of experimental values and calculation values for vapor permeability of *Cryptomeria japonica*.

	RH <sub>o</sub> (%)	r <sub>a</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	d (mm)	PL (%)	Rv (h·m <sup>2</sup> ·mmHg/g)			p (g mm/h·m <sup>2</sup> ·mmHg)	
					EW	LW	CV	EV	CV
T	55	0.376	1.08	32.6	1.68	3.73	2.05	0.365	0.527
	67	0.385	1.16	34.5	1.20	2.56	1.47	0.392	0.790
	82	0.368	1.06	31.0	0.64	1.36	0.77	0.725	1.371
	88	0.358	1.07	28.9	0.61	1.23	0.71	0.934	1.513
R	55	0.362	1.05	29.7	1.68	3.73	1.99	0.505	0.530
	67	0.366	1.05	30.6	1.20	2.56	1.42	0.741	0.740
	82	0.366	1.10	30.6	0.64	1.36	0.76	1.231	1.450
	88	0.356	1.06	28.5	0.61	1.23	0.71	1.561	1.490

\* : see the note of Table 1 and Table 3.

d : thickness of specimen, PL : percent of late wood,

T : tangential direction, R:radial direction,

EV : experimental value, CV : calculation value.

타내었다. 접선방향의 계산치는 실험치와 그 차가 크게 나타났으며, 반경방향의 계산치는 실험치와 잘 일치함을 보였다. 일반적으로 연륜의 형태로부터 산출한 병렬모델의 계산결과가 직 병렬모델의 계산결과보다 실험결과와 보다 일치함이 예상된다. 그러나 문헌치의 재료인 杉나무 間伐材를 두께 약 1mm의 얇은 판재로 한 경우, 연륜계가 완전히 포함되지 않으며, 또한 평균함수율이 같아도 목재내부의 함수율분포가 다르면 투습율도 달라지게 된다. 이러한 이유때문에 목재의 밀도만으로서 투습율을 추정하는 것은 어렵다는 것이 示唆되었다.

#### 4. 結 論

杉나무 大徑木の 1연륜내에서 두께 약 1mm의 춘재부 및 추재부만으로 된 板目板(LT板材)을 재료로 하여 춘 추재부의 투습성을 검토하였다. 그 결과, 춘재부의 밀도는 추재부 밀도의 약 1/3로서, 춘재부의 투습율은 추재부의 투습율보다 약 3배정도 큰 값을 나타내었다. 또, 각 외기조건에 있어서 투습저항은 추재부가 춘재부보다 현저하게 크고, 투습율은 춘 추재부에 있어서 모두 목재의 평균함수율에 대해서 의존성이 있음을 알 수 있었

다. 따라서 실험조건에 의해 변하는 투습율이나 투습저항은 실제 상황에서 일반적인 타당성이 없으며, 목재내부에서의 습기거동을 해석하기 위해서는 습기투과방향의 각 점에 있어서 함수율을 알 필요성이 있음이 시사되었다. 또 목재의 밀도로부터 투습율을 추정하는 모델을 생각하여 계산한 결과, 목재의 반경방향에 있어서의 투습율은 일치함을 보였다. 반면에, 접선방향에서는 실험치와 많은 차이가 있었으며 목재의 밀도만으로는 추정하기가 어렵다는 사실이 밝혀졌다.

#### 參 考 文 獻

1. 佐道 健. 1986. 木材中の物質移動, 日本木材學會誌, 32 : 485-491
2. 鈴木正治. 1973. 建築用木材の部材化に關する研究. 第1報-木質パネルの透濕と結露-, 日本林試研報, 東京, 257 : 1-56
3. 李 元熙. 1990. 木材の透濕ならびに吸放濕に關する研究, Ph D. Thesis, 東京大學(日本).
4. W. H. Lee, M. Ohta and T. Okano. 1991. Moisture transfer and velocity of moisture transmission in a steady state, *Mokuzai Gakkaishi*, 37(2) : 101-108

5. 高分子學會(編). 1972. 高分子と水分, 幸書房, 東京.
6. 渡邊 要(編). 1983. 建築計劃原論Ⅲ: 131-174.

丸善株式會社, 東京.

7. 澤邊 攻. 1979. 木材細胞壁の空隙構造に関する研究, Ph D. Thesis, 京都大學(日本).