

낙엽송재 내 수분의 내부이동 및 표면방사 평가*1

한 연 중*2 · 엄 창 득*2 · 김 세 종*2 · 강 욱*3 · 박 주 생*4 · 박 문 재*4 · 여 환 명*2†

Evaluation of Surface Emission and Internal Movement of Water in Japanese Larch Lumber*1

Yeonjung Han*2 · Changdeuk Eom*2 · Se Jong Kim*2 · Wook Kang*3 ·
Joo Saeng Park*4 · Moon Jae Park*4 · Hwanmyeong Yeo*2†

요 약

목재의 방향별 내부수분이동계수와 표면방사계수를 측정하기 위하여 2.5 (방사방향) × 2.5 (접선방향) × 2.5 cm (섬유방향)의 낙엽송 정육면체 시편을 제작하였다. 수분이동방향과 직교하는 단면을 제외한 나머지 4면을 파라핀테이프와 고무테이프를 이용하여 코팅한 후, 70, 50, 30°C의 3가지 온도조건과 30, 60%의 2가지 상대습도 조건에서 건조시키면서, 목재 내부와 표면에서의 수분이동을 평가하였다. 자유수 유동과 결합수 및 수증기의 확산에 의한 내부수분이동계수는 고온조건에서 크게 나타났으며, 섬유방향이 횡단방향에 비하여 6배, 횡단방향에서는 방사방향이 접선방향에 비하여 1.2배 정도 큰 값을 보였다. 표면방사계수는 온도가 상승하고, 표면함수율이 감소함에 따라 증가하였다. 본 연구 결과를 이용하여 비평형상태에서 낙엽송재 내 함수율 분포변화와 증발수분량을 예측할 수 있으리라 기대된다.

ABSTRACT

Japanese larch specimens with dimension of 25 (radial direction) × 25 (tangential direction) × 25 cm (longitudinal direction) were prepared to determine 3 different directional internal mois-

* 1 접수 2007년 5월 1일, 채택 2007년 6월 18일

* 2 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 Dept. of Forest Science, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

* 3 전남대학교 농업생명과학대학 임산공학전공 Dept. of Wood Science and Engineering, College of Agriculture and Life Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

* 4 국립산림과학원 임산공학부 Dept. of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 주저자(corresponding author) : 여환명(e-mail: hyeo@snu.ac.kr)

ture movement coefficients and surface emission coefficients along the radial-, the tangential-, and the tangential-direction. 4 sides of each cubic specimen were wrapped with paraffin tape and rubber tape, leaving open the 2 opposite surfaces of interest, to provide one dimensional moisture movement during drying. The coefficients were determined at three different temperatures, 70, 50 and 30°C and at two different relative humidities, 30 and 60%. Internal moisture movement coefficients inclusive of flow of free water and diffusion of bound water and water vapor were increased in the high temperature condition. The internal moisture movement coefficient in the longitudinal direction was about six times of those in transverse directions with radial value being 20% greater than the tangential. Surface emission coefficients were increased with temperature and decreased with surface moisture content. Using this results, moisture content (MC) profile and quantities of moisture evaporating in Japanese larch lumber could be predicted in dynamic drying situations.

Keywords: Japanese larch, diffusion, surface emission, internal moisture movement coefficient

1. 서 론

목재의 합리적인 이용은 수분의 제어로부터 시작 된다고 할 수 있다. 목재건조는 가공과 이용 측면에서 필수적인 공정 중의 하나로서 수분이동과 열전달이 동시에 이루어지는 매우 복잡한 물리적 과정이다. 목재 표면과 내부 수분의 분포와 이동 속도는 목재의 전반적인 물리적·역학적·광학적·전기적·음향적 성질을 변화시키는 가장 중요한 인자이기 때문이다. 잘못된 수분조절은 건조 중 목재표면과 내부에 활렬을 유발시켜 목재강도를 떨어뜨리고, 목재 표면과 내부의 변색과 부후를 촉진시키고, 천연자원의 손실을 가져온다. 또한 일선 목재가공 산업 현장에서의 부적절한 수분제어는 접착성능, 도장성능, 보존제 주입 성능 등을 떨어뜨리고 불안정한 전기저항과 음향방사를 유도하여 목제품의 고부가가치창출을 방해한다.

일반적으로 목재 내부에서의 수분이동률은 확산계수(diffusion coefficient)로 표현하고, 표면에서 외기로의 수분이동률은 대류계수 또는 표면방사계수(surface emission coefficient) 등으로 설명해 왔으며, 목재 내 수분이동의 평가를 위해 다수의 실험과 수학적 접근이 시도되었다(Avradmidis, 1987). 본 연구에서는 목재 내부의 결합수와 수증기의 확산

과 함께 자유수 유동을 포함한 수분이동률을 내부수분이동계수(internal moisture movement coefficient)로 표현하고 결정하였으며, 내부수분이동과 분명히 구분되는 표면방사계수를 정의하고 결정하였다.

건조 시에 주위 환경의 변화에 의해 고체 내 수분이 어느 한 지점에서 다른 곳으로 이동을 할 때, 이동을 발생시키는 원동력을 수분의 농도 차에서 유래한다고 가정하고, 임의의 수분 함량범위 내에서의 확산계수를 상수로 가정하면, Fick의 확산법칙의 일반해를 변수분리법(separation variable method)로 구할 수 있는데, 이에 대한 연구들이 Comstock (1963), McNamara and Hart (1971), Park (1996), Yeo (2001) 등에 의하여 이론적으로 발전하였다. 반면 Skarr (1954), Stamm and Nelson (1961), Comstock (1963), Yao (1966)과 McNamara and Hart (1971) 등은 Fick의 법칙의 또 다른 일반해는 변환법(Transformation Method)에 의하여 오차함수로 표현되어질 수 있으며, 이 오차함수 일반해를 이용하여 확산계수를 결정할 수 있다고 보고한 바 있다.

Siau (1984)는 확산에 관하여 목재의 비중, 두께, 함수율, 온도의 영향에 대하여 조사하였고, Siau (1995)는 건조 시 목재 주위 대기의 영향뿐만 아니라 목재의 물리적 성질이 표면방사계수에 영향을 끼친다고 보고하였다. 이(1996)는 수분확산과 전달현

상에 관한 실험적 검증은 통하여 수분전달계수는 재료의 두께에 대한 의존성을 보였다. 또한 강(1991)은 비정상상태에서의 수분확산과 활성화에너지를 비교하여 목재의 해부학적 구조와 내부수분확산속도의 관계를 조사하였다. Hart (1977)는 목재 표면의 온도를 안다면 온도의 함수를 통하여 수확과정 중의 목재 표면습도를 결정할 수 있다고 보고하였으며, 목재 표면함수율이 높을 때 목재표면에서 공기로 방출되는 수분플럭스는 목재의 표면과 주위 공기의 수증기압 차이에 의하여 제어된다고 주장하였다. Yeo and Smith (2005)는 목재 표면 주위 공기 내 수증기압을 이용하여 대류계수를 표면방사계수로 전환시키는 이론적 방법을 제시하였으며 실험을 통해 증명하였다. 본 연구에서는 낙엽송(*Larix kaempferi Carr.*)을 이용하여 목재의 표면과 내부에서의 수분이동현상을 세포배열 방향을 고려한 실험을 통하여 구명하고, 보다 정확히 내부수분이동계수와 표면방사계수를 결정할 수 있는 방법에 대하여 고찰하였다. 본 연구를 통해 개발된 기술을 이용하여 환경 조건에 따라 역동적으로 변하는 수분흡착성능을 지닌 이방성 물질의 표면과 내부 수분분포를 예측하고 제어할 수 있다. 또한 수분흡착성 물질의 가공공정 중 또는 사용 중에 발생할 수 있는 할렬과 변형 제어

를 위해 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험방법

낙엽송(*Larix kaempferi Carr.*)은 강원도 홍천군에서 벌목하여 목재의 3방향별로 내부수분이동계수와 표면방사계수를 결정하기 위하여 각각 2.5 (방사방향) × 2.5 (접선방향) × 2.5 cm (섬유방향)로 제작하여, 함수율 100~160%의 범위인 포수상태로 만들었다. 측정하고자 하는 단면을 제외한 4면을 파라핀(paraffin)테이프와 고무테이프를 이용하여 코팅하여 수분의 출입을 막고, 각 시편 내부의 수분이 섬유·방사·접선방향 중 한 방향으로만 이동할 수 있도록 처리하였다. 제작된 시편을 각각 방향별로 5개씩 준비하여 3가지 온도조건(70, 50, 30°C)과 2가지 상대습도(30% RH, 60% RH)를 적용하여 온도와 습도 제어가 가능한 항온항습기 내에서 건조하여 함수율의 변화를 조사하였다. 변화하는 각 방향별 시편의 평균함수율(average moisture content: AMC)을 측정하였다.

Table 1. Physical properties of Japanese larch specimen

Temperature (°C)	RH (%)	Initial MC (%)	Final MC (%)	Dimension (cm)			Specific Gravity ^{a)}
				Length	Width	Thickness	
70	30	133.2 (5.0) ^{b)}	6.8 (1.3)	25	25	25	0.50 (0.02)
	60	142.0 (11.7)	8.5 (1.2)				
50	30	139.7 (8.2)	7.3 (1.2)	25	25	25	
	60	121.3 (9.6)	9.5 (2.0)				
30	30	138.8 (12.4)	8.4 (1.0)	25	25	25	
	60	100.8 (8.4)	10.3 (1.6)				

a): based on oven-dried volume, b): Standard deviation.

2.2. 내부수분이동계수 결정방법

평균내부수분이동계수의 측정은 건조 중에 변하는 각 시편의 평균함수율(AMC)을 측정 후 식 (1)의 분율함수율변화비(fraction change in the average moisture concentration, \bar{E})를 이용하여 변수분리법으로 유도한 비정상상태 확산방정식의 해인 식 (3)에 의하여 결정하였다.

함수율 변이에 따른 내부수분이동계수의 변화를 측정하기 위하여 시편의 무게를 측정한 시점을 기준으로 하여 초기함수율을 정하고, 각각 식 (1)에 의하여 결정된 분율함수율변화비를 이용하여, 식 (3)에 의하여 내부수분이동계수를 결정하였다.

$$\bar{E} = \frac{AMC - EMC}{IMC - EMC} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\bar{E} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4L^2} K \cdot t\right) \quad \text{Eq. (2)}$$

$$K = \frac{4L^2}{\pi^2 t} \ln\left(\bar{E} \cdot \frac{\pi^2}{8}\right) \quad \text{Eq. (3)}$$

where K = internal moisture movement coefficient (m^2/sec), IMC = initial MC (%), AMC = average MC (%), EMC = equilibrium MC (%), t = time (sec), L = half thickness of specimen (m)

2.3. 표면방사계수 결정방법

표면에서 공기 중으로의 물질전달률인 대류계수 h_p 는 식 (4)의 Hart 법(Hart, 1977)에 의하여 결정했다. 포수재의 건조초기 표면은 젖은 상태이고 이때의 표면온도는 습구온도와 유사하여 표면근처 공기 내 수증기압은 습구온도의 포화수증기압으로 가정하여 대류계수 h_p 를 결정하였다.

$$h_p = \frac{J}{(p_s - p_e)} \quad \text{Eq. (4)}$$

where, h_p = convective mass transfer coefficient based on the potential of water vapor pressure ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$), J = moisture flux from surface to air ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$), p_s = water vapor pressure in air adjacent to the wood surface (Pa), p_e = water pressure in ambient air at the dry bulb temperature (Pa)

표면방사계수를 결정하는 방정식은 대류계수를 이용한 변환방법(Yeo and Smith, 2005)에 의하여 식 (5)의 형태가 된다. 주어진 값인 RH_e , $P_{o,wet}$, $P_{o,dry}$ 와 RH_s 을 식 (6)에 대입하여 P_s 의 값을 결정한다. 결정된 P_s 를 식 (5)에 적용하고, 표면함수율과 내부함수율의 변화량을 이 식에 적용하여 표면방사계수를 결정한다.

$$\begin{aligned} S &= h_{H_2O,wood} = h_p \cdot \frac{(p_s - p_e)}{(C_{s,wood} - C_{e,wood})} \\ &= h_p \cdot \frac{p_s - p_e}{G_{SMC} \cdot \rho_w \cdot \frac{SMC}{100} - G_{EMC} \cdot \rho_w \cdot \frac{EMC}{100}} \quad \text{Eq. (5)} \end{aligned}$$

where, $S = h_{H_2O,wood}$ = surface emission coefficient (m/s), $C_{s,wood}$ = moisture concentration in wood at surface (kg/m^3), $C_{e,wood}$ = moisture concentration in wood in equilibrium with air (kg/m^3), ρ_w = density of water (kg/m^3), SMC and EMC = surface and equilibrium moisture content (%), G_{SMC} and G_{EMC} = specific gravities of wood based on oven-dry weight and volumes at SMC and EMC,

$$\begin{aligned} p_s &= p_{o,wet} - \left(\frac{p_{o,wet} - p_e}{100 - RH_e}\right) \cdot (100 - RH_s) \\ &= \left(\frac{p_{o,wet} - p_{o,dry} \cdot \left(\frac{RH_e}{100}\right)}{100 - RH_e}\right) \cdot (100 - RH_s) \quad \text{Eq. (6)} \end{aligned}$$

where, $p_{o,wet}$ = saturated water vapor pressure

at wet bulb temperature (Pa), $p_{o,dry}$ = saturated water vapor pressure at dry bulb temperature (Pa), RH_e = relative humidity of ambient air (%), RH_s = relative humidity of air adjacent to surface of wood (%)

3. 결과 및 고찰

3.1. 내부수분이동계수 평가

Table 2는 3가지의 온도조건(70, 50, 30°C)에서 30% RH와 60% RH의 2가지 상대습도를 일정하게 유지하면서 평형함수율에 도달할 때까지 건조시킨 낙엽송의 내부수분이동계수를 제시하고 있고, Fig. 1은 포수상태에서 평형함수율에 도달하기까지 각각의 함수율범위에서의 내부수분이동계수를 결정한 후 초기함수율을 새롭게 정하여 결정한 내부수분이동계수들을 보여준다. 목재 내 수분의 이동에서 물 분자의 활동을 증가시키는 고온조건이 내부수분이동계수를 증가시킴을 보여준다. 또한 목재의 방향에 따른 내부수분이동계수의 차이는 수분의 이동이 가도관을 통한 자유수의 유동에 의하여 주도되는 약 30% 이상(섬유포화점 이상)에서는 섬유방향의 내부수분이동계수가 횡단방향에 비하여 약 6배 정도 크게 나타났고, 횡단방향 내에서는 방사방향이 접선 방향에 비하여 1.2배 정도 크게 나타났다. Yokota (1959)는 목재의 확산계수는 섬유포화점 이상에서 일정한 값을 가진다고 보고하였는데, 본 연구실협결

과를 통해서도 함수율이 30% 이상인 범위에서는 30% 이하의 경우에 비해 수분이동계수가 크게 변하지 않음을 확인할 수 있었다.

각 건구온도와 상대습도 조건 하에서 건조되고 있는 각 방향별 시편의 함수율 변화를 이용하여 내부수분이동계수를 결정하였다. 건조 전인 초기함수율(IMC), 건조과정 중에 측정된 평균함수율(AMC)과 최종함수율(EMC)을 식 (1)에 적용하여 분율함수율 변화비를 구하였다. 평균함수율 변화에 따라 변하는 분율함수율변화비를 회귀곡선으로 표현하여, 식 (2)와 같은 형태를 만든다. 함수율에 따른 비교를 위하여 함수율을 측정할 때를 각각의 초기함수율로 가정하고, 각각의 분율함수율변화비를 회귀곡선으로 표현하여 비교하였다.

건구온도 30°C, 상대습도 30% 상태에서 섬유방향의 내부수분이동계수를 측정하기 위하여, 초기함수율 133%에서 최종함수율 7.8%까지 건조한 시편을 시간에 따라 평균함수율 식 (1)에 대입하여 분율함수율변화비의 회귀곡선을 계산하면, $\bar{E} = 8/\pi^2 \times \exp(0.12234 t)$ 로 주어지고, 식 (2)에서 $0.12234 = \pi^2 \cdot K/(4 L^2)$ 이다. 이를 내부수분이동계수 K에 대하여 정리하면, 건구온도 30°C, 상대습도 30% 조건에서 초기함수율이 133%일 때의 내부수분이동계수는 $2.0 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{sec}$ 이다. 동일한 방법으로 다른 초기함수율 조건에서의 내부수분이동계수를 결정하면, 각각의 함수율에서의 회귀곡선과 내부수분이동계수를 Table 3에 나타냈다. 다른 건구온도, 상대습도의 조건에서와 방사방향과 접선방향에 대한 내부수분이동계수도 위의 방법으로 결정할 수 있다.

Table 2. Internal moisture movement coefficient of Japanese larch

Temperature (°C)	RH (%)	IMC - EMC (%)	Internal moisture movement coefficient, K (m ² /sec)		
			Longitudinal direction	Radial direction	Tangential direction
70	30	133.2 - 6.8	5.7E-09	1.2E-09	9.1E-10
	60	142.0 - 8.5	5.0E-09	1.1E-09	9.0E-10
50	30	139.7 - 7.3	4.2E-09	7.7E-10	6.9E-10
	60	121.3 - 9.5	2.6E-09	6.2E-10	4.9E-10
30	30	138.8 - 8.4	1.9E-09	4.1E-10	3.4E-10
	60	100.8 - 10.3	1.5E-09	3.9E-10	3.2E-10

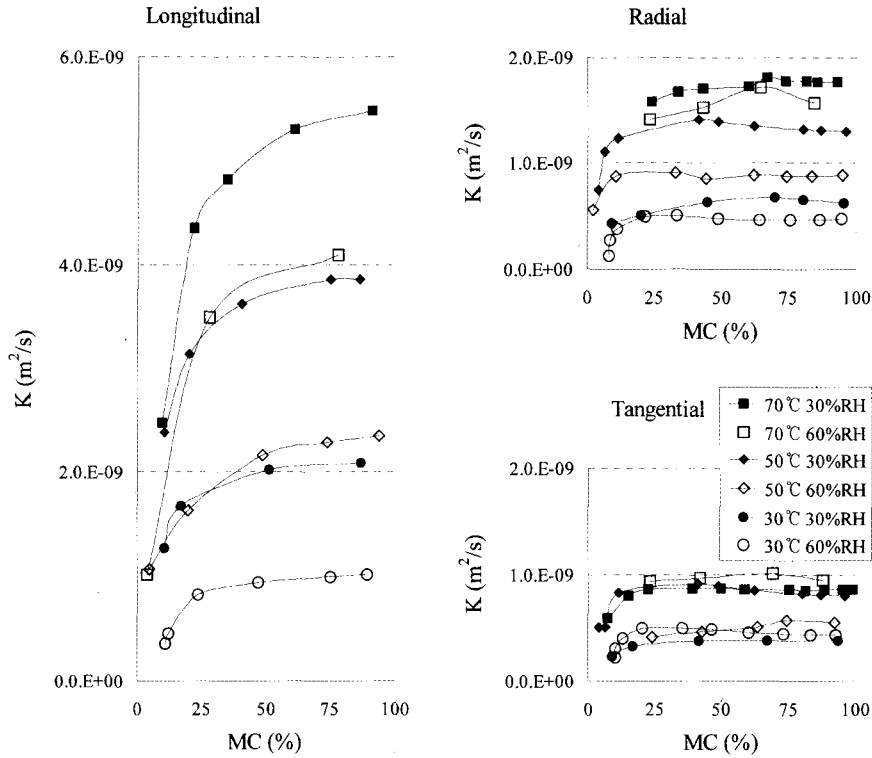


Fig. 1. Relationship between internal moisture movement coefficient (K) of Japanese larch and MC at various temperature and relative humidity.

Table 3. Regression curve and internal moisture movement coefficient (K) of Japanese larch at 30°C dry-bulb and 30% RH.

IMC (%)	EMC (%)	Regression Curve	Internal Moisture Movement Coefficient (m ² /sec)
133		$\bar{E} = 8/\pi^2 \times \exp(0.12234 t)$	20×10^9
121		$\bar{E} = 8/\pi^2 \times \exp(0.12328 t)$	21×10^9
106		$\bar{E} = 8/\pi^2 \times \exp(0.12471 t)$	21×10^9
86	78	$\bar{E} = 8/\pi^2 \times \exp(0.12549 t)$	21×10^9
51		$\bar{E} = 8/\pi^2 \times \exp(0.12161 t)$	20×10^9
17		$\bar{E} = 8/\pi^2 \times \exp(0.10039 t)$	17×10^9
10		$\bar{E} = 8/\pi^2 \times \exp(0.07605 t)$	13×10^9

3.2. 표면방사계수 평가

주어진 온도와 상대습도에서 보다 정확한 건조속도를 예측하기 위해서 목재의 수분이동을 내부저항과 외부저항으로 구분할 필요가 있다. 내부저항이

수분이 전달되는 단위길이당 내부수분이동계수의 역수를 의미한다면 외부저항은 표면방사계수의 역수를 의미한다. 식 (5)를 이용하면 Hart 법(1977)으로 구한 대기온습도와 풍속의 외부환경조건에 의존하여 변하는 대류계수를 외부환경조건과 함께 목재

표면의 흡착성능에 의해 변하는 표면방사계수로 변환시킬 수 있다.

Hart 법(1977)에 의하면 목재표면에서 공기로 방출되는 수분 플럭스(moisture flux)는 목재 표면과 주위 공기의 수증기압의 차이에 의하여 제어된다. 초기 건조조건에서 플럭스가 최대일 때의 목재표면의 수증기압은 습구온도의 포화수증기압이라고 가정할 수 있다. Kirchhoff의 식에 따르면(Siau, 1995), $p_0 = \exp(53.421 - 6516.3 / T - 4.125 \cdot \ln T)$, 이 식에서 p_0 는 포화증기압, Pa, T는 절대온도, K이다. 건구온도 30°C (303.15 K)에서 포화수증기압은 4213 Pa이고, 건구온도 30°C, 상대습도 30%에서 부분수증기압(p_e)는 1264 Pa, 습구온도는 18°C (291 K)이고 이 습구온도에서의 포화수증기압($p_{0, wet}$)은 2050 Pa이다.

건구온도 30°C에서 낙엽송의 표면에서 공기로 방출되는 수분의 플럭스는 $4.2 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$ 이다. 건구온도 30°C, 상대습도 30%에서 계산된 초기 수분의 플럭스(J), 습구온도에서의 포화수증기압($p_{0, wet}$)(섬유포화점 이상에서 $p_s = p_{0, wet}$), 주위 공기의 부분수증기압(p_e)을 이용하면, 식(4)에 의하여 h_p 가 계산된다.

$$h_p = \frac{J}{(p_s - p_e)} = \frac{4.2 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2}{2050 \text{ Pa} - 1264 \text{ Pa}} = 5.3 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}$$

낙엽송의 h_p 는 위에서 계산한 것과 같이 $5.3 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ 이다. h_p 값과 식(5)을 이용하여 표면방사계수($S = h_{H_2O, wood}$)를 결정할 수 있다. 초기 표면함수율 100%를 적용하고, 건구온도 30°C에서의 섬유포화점을 30%로 정하였다. 실험에서 측정된 최종함수율은 6.0% MC이고, 목재 생체비중(G_{IMC})은 0.48이고, 전건비중(G_{EMC})은 0.50이다. 이전에 계산한 건구온도 30°C, 습구온도 18°C에서의 포화수증기압은 4212 Pa ($p_{0, dry}$)와 2050 Pa ($p_{0, wet}$), 상대습도 30%에서의 부분증기압인 1264 Pa (p_e)를 다시 이용하여 식 (5)에 대입하여 표면방사계수를 결정했다.

$$S = h_{H_2O, wood} = 5.3 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa} \times \frac{2050 \text{ Pa} - 1264 \text{ Pa}}{0.48 \cdot 1000 \cdot \frac{100\% \text{ MC}}{100} - 0.50 \cdot 1000 \cdot \frac{6\% \text{ MC}}{100}} = 9.3 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

이와 같이 h_p 를 이용하여 표면방사계수로 전환시킬 수 있었다. 식 (6)을 이용하여, 방습이 진행되어 표면함수율이 낮아짐에 따라서 변화하는 목재 표면 주위의 상대습도(RH_s)를 평형함수율과 상대습도와 의 관계를 이용하여 결정하고, p_s 를 계산하여 다시 식 (5)에 대입하면, 표면함수율 변화에 따른 표면방사계수를 결정할 수 있다. 표면함수율이 30%에서, 표면방사계수는 $36 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 이고, 표면함수율이 20%에서, $RH_s = 90\%$ 이고, p_s 는 1971 Pa이고, 표면방사계수는 $57 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 이고, 표면함수율이 16%에서 $RH_s = 81\%$ 를 가정하면, p_s 는 1900 Pa이고, 표면방사계수는 $71 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 이고, 표면함수율이 12%에서 $RH_s = 71\%$ 를 가정하면, p_s 는 1822 Pa이고, 표면방사계수는 $105 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 로 결정된다.

Fig. 2는 3가지의 온도조건(70, 50, 30°C)에서 2가지 상대습도(30, 60%)를 일정하게 유지하면서 건조시킨 낙엽송의 표면함수율에 따라 결정된 표면방사계수를 나타낸다. 이 결과를 통하여 높은 온도와 낮은 표면함수율에서 보다 많은 표면방사가 이루어지는데, 이는 표면방사는 수종에 따른 흡습성에 영향을 받고, 수종이 같은 경우에는 풍속, 온도, 습도에 따라 좌우되기 때문이라고 여겨진다. 그러나 내부수분 이동계수에 크게 영향을 미치는 목재이방성은 표면방사에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 목재 내의 수분이동을 비정상상태에서의 낙엽송의 내부수분이동계수와 표면방사계수를 이용하여 평가하였다. 자유수 유동과 결합수 및 수증기의 확산에 의한 내부수분이동계수는 물분자의 운동을 촉진시키는 고온조건에서 보다 컸고, 섬유방향에 횡단방향에 비하여 약 6배, 횡단방향에서

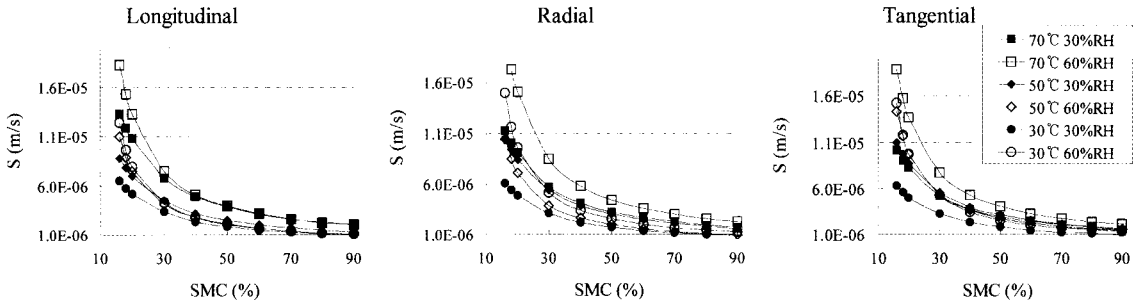


Fig. 2. Relationship between surface emission coefficient (S) of Japanese larch and surface moisture content (SMC) at various surface moisture content.

는 방사방향이 접선방향에 비하여 약 1.2배 정도의 큰 값을 보였다. 표면방사계수는 온도가 상승하고, 표면함수율이 감소함에 따라 증가하였고, 목재방향에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다. 이에 따라 내부수분이동계수는 온도와 목재의 함수율과 섬유배향성에 따라 차이를 보이며, 표면방사계수는 주위 공기의 증기압에 의존하고 목재의 표면함수율에 따라 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 구한 내부수분이동계수와 표면방사계수를 이용하여 특정 외부환경조건에서 낙엽송의 함수율 변이와 증발수분의 양과 건조속도 등을 예측할 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. Avramidis, S. and J. F. Siau. 1987. An investigation of the external and internal resistance to moisture diffusion in wood. *Wood Sci. Technol.* 21: 249~256.
2. Comstock, G. L. 1963. Moisture diffusion coefficient in wood as calculated from adsorption, desorption, and steady state data. *Fores Prod. J.* 13: 97~103.
3. Hart, C. A. 1977. Effective surface moisture content of wood during sorption. *Wood Sci.* 9(4): 194~201.
4. McNamara, W. S. and C. A. Hart. 1971. An analysis of internal and average diffusion coefficients for unsteady-state movement of moisture in wood. *Wood Sci.* 4(1): 37~45.
5. Park, J. H. and W. B. Smith. Estimations of moisture profiles during wood drying using an unsteady-state diffusion model (I). *Mokchae Konghak.* 24(2): 36~41.
6. Siau, J. F. 1984. *Transport Process in Wood.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, German.
7. Siau, J. F. 1995. *Wood: Influence of moisture on physical properties.* Dept. of Wood Sci. and Forest Prod., Virginia Tech, VA. p. 227.
8. Skaar, C. 1954. Analysis of methods for determining the coefficient of moisture diffusion in wood. *Journal of For. Prod. Res. Soc.* 4: 403~410.
9. Stamm, A. J. and R. M. Nelson. 1961. Comparison between measured and theoretical drying diffusion coefficients for southern pine. *Forest Prod. J.* 11: 536~543.
10. Yao, J. 1966. A new approach to the study of drying diffusion coefficient of wood. *Forest Prod. J.* 16(6): 61~69.
11. Yeo, H. 2001. Evaluation of mass transfer in wood utilizing a colorimetric technique and numerical analysis. Ph.D. thesis, SUNY-ESF, Syracuse, NY. p. 200.
12. Yeo, H. and W. B. Smith. 2005. Development of a convective mass transfer coefficient conversion method. *Wood Fiber Sci.* 37(1): 3~13.
13. Yokota, T. 1959. Diffusion of sorption-water through the cell wall of wood. *Mokuzai Gakkaishi.* 5(4): 143~149.
14. 강호양. 1991. 침엽수목 내부수분이동과 확산활성화에너지. *목재공학.* 19(4): 27~33. (in Korean)
15. 이원희. 1996. 목재내의 수분확산 및 전달현상에 관한 실험적 검증. *목재공학.* 24(1): 75~80. (in Korean)