

水分擴散의 活性化에너지 모델^{*1}

姜 球 陽^{*2}

A Model for Activation Energy of Moisture Diffusion in Wood^{*1}

Ho-Yang Kang^{*2}

ABSTRACT

An activation energy equation for moisture diffusion in wood was developed with an assumption that activation energy is directly proportional to wood specific gravity. Theoretical activation energies obtained from the activation energy equation were revealed to be always lower than actual activation energies, which implies that activation energy isn't affected only by wood specific gravity. The other affecting factors are possibly anatomical structures of wood which determine a ratio of vapor diffusion to bound water diffusion in wood. For the convenience of estimating actual activation energy by using the activation energy equation, thirteen kinds of species were categorized into three groups according to their anatomical structures.

Keywords : activation energy, diffusion, adsorption, vapor diffusion, bound water diffusion

1. 緒 論

1. 1 活性化에너지

섬유포화점 이하에서 목재내부수분 (以下 内部
수분)의 이동은 結合水 또는 蒸氣의 형태로 각각
세포벽과 세포내강을 통하여 일어나는데 이 이동
통로를 좀더 자세히 구분하면, 1) 결합수의 형태로
세포벽 만을 통하여, 2) 증기의 형태로 세포내강과
壁孔膜孔(pit membrane pore)을 통하여, 3) 결합
수의 형태로 세포벽을 통과하고 계속하여 증기형
태로 세포내강을 통하는 세가지 통로로 구분할 수
있다. 이러한 내부수분의 이동은 함수율차 또는

농도차에 의한 확산에 의하여 일어나는데 擴散係
數 (또는 擴散速度)는 목재의 해부학적 구조, 밀
도, 함수율, 온도 등에 따라 달라진다^[1].

목재내에서 물분자가 확산이동할 때는 活性화
에너지가 필요한데 活性화에너지에는 물분자가
흡착점에서 이탈하는데 필요한 흡착열, 이탈된 물
분자가 기체로 되는데 필요한 기화열, 물분자가
세포벽을 투과할 때 필요한 팽윤열 등이 포함된다.

活性화에너지는 Arrhenius 式 (식[1])을 이용
하여 구하는데 지금까지의 연구결과에 의하면
Table 1.에 나타난 바와 같이 측정방법, 확산방

*1. 接受 1992年 12月 14日 Received December 14, 1992

本研究는 1990 年度 韓國科學財團의 研究費(新進) 支援으로 途行되었음.

*2. 忠南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

향, 확산조건에 따라 다르게 나타난다.

$$D = D_0 \exp \left[\frac{-E_b}{RT} \right] \text{ 또는 } \ln D = A - \frac{E_b}{RT} \dots [1]$$

D :擴散係數 (cm^2/sec)

R : 이상기체상수 (1. 9872 cal / K mole)

T : 절대온도 (K)

D_0 와 A : 상수

E_b :活性化에너지 (cal /mole)

Stamm의 jump theory¹⁾에 따르면活性化에너지는 한 흡착점의 물분자가 흡착점을 이탈하여 다른 흡착점에 도달하는데 필요한 에너지로서 물의 증발열(물의 포화증기압을 식[1]에 대입하여 구한 값은 약 10,500cal /mole)에 흡착열을 더한 값이 된다²⁾. 이 값은 대략 12,000cal /mole 이지만 실험에서 얻어진活性化에너지는 Table 1.에서 본 바와 같이 7,478cal /mole에서 12,000cal /mole 까지 다양하게 나타났다. 특히 탈착실험보다는 흡착실험에서 높은活性化에너지를 나타냈는데 이는 흡착실험에서는活性化에너지가 낮은 증기확산이 거의 일어나지 않고活性化에너지가 높은 결합수확산만 일어났기 때문이라고 설명할 수 있다.

정확한活性化에너지를 알게 되면 식[1]로서 온도와擴散係數의 관계를 나타낼 수 있고擴散係數를 예측할 수 있기 때문에 목재내 수분이동 속

도를 계산할 수 있다. 이러한 결과는 전조 simulation 프로그램을 만드는데 직접적으로 적용될 수 있다¹⁰⁾.

본 연구에서는 여러가지 가설과 실제측정한 여러수종의活性化에너지를 이용하여 일반적인活性化에너지 모델식을 만들고活性化에너지에 영향하는 인자를 조사하여活性化에너지를豫測할 수 있는 방법을 모색하고자 한다.

1. 2 擴散係數式

擴散係數는 Fick의 제 1, 2법칙을 이용하여 조건에 따라 유도한식을 사용하여 구하며 비정상상태의擴散係數는 보통 무한평판식을 많이 사용하나 본 연구에서는 McNamara와 Hart¹¹⁾가 유도한 미분확산식을 사용하였다. 이 미분확산식은 흡착후반기에 유효한데 이식을 이용하여 구한擴散係數와 무한평판식으로 구한擴散係數는 비슷한 값을 나타낸다¹⁰⁾. 미분확산식을 더욱 간단히 변형하면 아래와 같다.

$$D = \left[\frac{2a}{\pi} \right]^2 d \dots [2]$$

D :擴散係數

d : 평균함수율에 대한 전조속도의 경사도

a : 판재두께의 1/2

Table 1. Activation energy values for moisture diffusion through wood and cellulosic materials.

| Specimen | Thickness | Condition | Activation energy (cal /mole) | Reference |
|--------------------|-----------|------------|----------------------------------|-----------|
| Cellophane | film | adsorption | 11,250 | (3) |
| Cellophane | film | adsorption | 12,000 | (3) |
| Cellophane acetate | film | adsorption | 9,670 | (4) |
| Ethyl Cellulose | 50μ | adsorption | 9,500 | (5) |
| Sitka spruce | 0.297 | adsorption | 12,000 | (6) |
| American beech | N.A | desorption | rad. — 9,430 tan. — 5,747 | (7) |
| Loblolly pine | 0.635 cm | desorption | rad. — 8,328 tan. — 7,478 | (8) |
| Hemlock | 0.635 cm | desorption | 6,780 | (9) |

1. 3 蒸氣擴散의 活性化에너지

蒸氣擴散의 活性化에너지는 氣體運動理論式 (kinetic theory of gases)을 이용하여 유도할 수 있다. 기체운동이론에 의하면 증기확산계수는 다음과 같이 표기할 수 있다¹²⁾.

$$D_v = 1/3 \lambda C \quad \dots \dots \dots [3]$$

D_v : 蒸氣擴散係數 (cm^2/sec)

λ : 기체분자의 평균자유행로 (cm)

C : 기체분자의 평균속력 (cm/sec)

기체분자의 평균자유행로는 압력증가에 따라 감소하고 평균속력은 온도증가에 따라 증가하므로 蒸氣擴散係數는 압력에 반비례하고 온도에 비례한다. 이 관계를 좀더 알기 쉽게 표시하면 다음과 같다¹³⁾.

$$D_v = B \frac{T^{1.5}}{P} \quad \dots \dots \dots [4]$$

T : 절대온도 (K)

P : 압력

B : 상수

식 [1]과 [4]를 비교해 보면 식 [1]의 擴散係數 D는 온도가 0°C에서 100°C까지 변할 때 擴散係數가 1000배 증가하나, 식 [4]의 蒸氣擴散係數 D_v 는 같은 온도 범위에서 2배도 채 못되게 증가한다. 이 사실은 증기확산은 결합수확산에 비해 온도의 영향을 거의 받지 않음을 뜻하며 따라서 증기확산은 활성화과정 (activated process)이 아님을 나타낸다.

증기확산과 온도의 관계는 Tarkow 와 Sitamm¹⁴⁾의 실험을 통하여 증명이 되었는데 그들은 Sitka spruce 를 가지고 이산화탄소의 擴散係數를 측정하여 기체의 확산은 온도의 영향을 거의 받지 않는다고 발표하였다.

1. 4 活性化에너지모델式

목재내 수분이동은 매우 복잡한 과정을 거쳐 일어날 뿐만 아니라 수종마다 서로 다른 해부학적 특성을 지니고 있기 때문에 그 현상을 완벽하게 밝히기는 불가능하다. 本研究에서는 수분이동현상을 단순화시켜 확산에 필요한 활성화에너지를 예측하기 위해 아래와 같이 가정하여 活性化에너지 모델식을 만들었다.

1. 4. 1 假定

1) 수분이동에 필요한 活性化에너지는 증기확산에 대한 결합수확산 비율에 비례한다. 즉 활성화에너지는 비중에 정비례한다.

2) 결합수확산만 일어날 경우 活性化에너지는 吸着活性화에너지와 같은 12,000cal /mole 이다³⁾.

3) 앞에서 언급한 바와 같이 증기확산은 활성화과정이 아니므로 증기확산만 일어날 경우 活性화에너지는 거의 0cal /mole 에 가깝다¹⁴⁾.

4) 따라서 2)와 3)의 가정에 의하면 목재가 목질만으로 되어 있을 때에는 결합수확산만 일어나므로 목재비중은 목질비중(진비중)인 1.46이고 活性화에너지는 12,000cal /mole 이다.

1. 4. 2 活性化에너지식

위의 가정 1), 2), 3)에 의하면 活性化에너지식을 아래와 같이 적을 수 있다.

$$E_b = f_1 E_{bw} + f_2 E_v \quad \dots \dots \dots [5]$$

$$f_1 + f_2 = 1$$

E_b : 活性化에너지

E_{bw} : 결합수확산의 活性化에너지

E_v : 증기확산의 活性化에너지

f_1 : 결합수확산 비율

f_2 : 증기확산 비율

위의 가정 1), 4)에 의하면 活性化에너지는 비중에 비례하고 목재가 목질만으로 되어있을 때 活性화에너지가 E_{bw} 와 같으므로 아래식으로 표시할 수 있다.

$$E_b = \frac{E_{bw}}{S_{ws}} S_g + b \quad \dots \dots \dots [6]$$

S_g : 생재비중 (전건무게 - 생재부피 기준)

S_{ws} : 목질비중 (=1.46)

b : 比重外因子의 活性化에너지 (cal / mole)

식 [5]와 [6]에서 증기확산의 活性化에너지값 (E_v)이 0이라고 가정하면 식[7]이 된다.

$$f_1 E_{bw} = \frac{S_g}{S_{ws}} E_{bw} + b \quad \dots \dots \dots [7]$$

$$S_g = \frac{W_{od}}{V_g}, \quad S_{ws} = \frac{W_{od}}{\beta_w}, \quad \frac{S_g}{S_{ws}} = \frac{V_{ws}}{V_g}$$

W_{od} : 전건무게

V_g : 생재부피

V_{ws} : 목질부피

w : 4°C 물의 밀도 ($= 1 \text{ g/cm}^3$)

식[7]에서 비중이외에는活性化에너지가 영향을 받지 않는다고 가정하면 b는 0이 되므로,

$$f_1 = \frac{V_{ws}}{V_g} \text{이 되고,}$$

따라서 전체 확산에 대한 結合水擴散 비율 (f_1)은 전체부피에 대한 목질의 부피비와 같다.

2. 材料 및 方法

본 논문에서는 침엽수 2수종, 활엽수 3수종의 심재와 변재, 방사방향과 접선방향의活性化에너지값을 사용하였으며 그중 일부는 이미 발표된 자료^[5, 16]를 인용하였다. 공시수종 및 공시판재는 Table 2.와 같으며 본 연구를 위해 미국산 오리나무(*Alnus rubra*) 와 국내산 플라타너스(*Platanus occidentalis*)를 가지고 실험하였다.

활엽수공시수종은 국내에서 구하기 쉽고 한창 용도개발중에 있는 미국산 오리나무(*Alnus rubra*) 와 국내산 플라타너스(*Platanus occidentalis*)로 선택하였다. 인근 제재소에서 직경 40cm 정도되는 원목을 구입하여 두께 30mm로 제재하였다. 심재와 변재를 구분하고 곧은결판재와 무늬결판재가 고루 나올 수 있도록 조심하여 제재하였으나 오리나무 변재는 부위가 너무 적어 판재를 만들지 못하였으며 플라타너스 심재는 곧은결판재와 무늬결판재를 구분할 정도로 많지 않아 구분치 않고 제재하였다.

공시판재는 忠南大學校內 가공실에서 양면 대패질작후에 $25 \times 100 \times 140\text{mm}$ 공시시편으로 절단하였다. 폭 25mm의 함수율시편을 만들어 시편들의 平均生材含水率을 조사하였더니 오리나무와

Table 2. Experimental plan

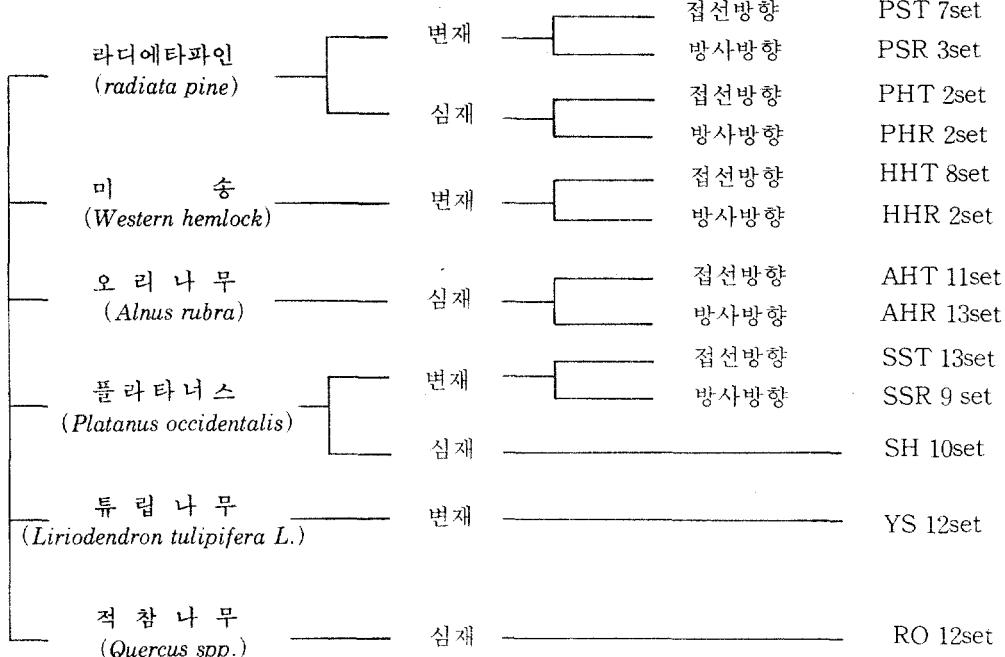


Table 3. Drying schedules used for this study

| Temperature. (°C) | | EMC (%) |
|-------------------|----------|---------|
| Dry-bulb | Wet-bulb | |
| 30.0 | 16.9 | 5.0 |
| 40.0 | 24.0 | 5.0 |
| 50.0 | 31.7 | 5.0 |
| 60.0 | 40.0 | 5.0 |

플라타너스는 각각 65%와 85% 였다.

각 공시시편의 두께, 폭, 길이를 쟁 후 모서리를 통한 수분증발을 가능한한 줄였다. 시편은 대기중에 함수율이 섬유포화점이하로 떨어질 때 까지 방치한 후 각 온도별로 건조를 시작하였다. 건조는 온습도조절기 (humidity chamber)에서 실시하였으며 건조스케줄은 Table 3.과 같이 평형함수율은 같으나 건구온도는 서로 다른 4개의 스케줄을 사용하였다. 온습도조절기에 넣은 시편은 초기에는 1시간마다, 후기에는 4~5시간마다 꺼내어 전자저울로 무게를 0.01g까지 재고 건조후에 시편의 전건무게를 재어 건조중에 쟁 무게를 함수율로 변환하였다. 무게측정시간을 가능한한 짧게 하여 시편의 무게와 온도의 변화를 최대한 줄였다. 본 실험에 사용된 온습도조절기는 영국 Fisons사의 Environmental Equipment로 0°C ~ 100°C의 건구온도 작동범위와 45%~95%의 상대습도 작동범위를 가지고 있다.

擴散係數는 평균함수율별 건조속도 데이터를 구한 후식[2]를 이용하여 구하였다. 네개의 온도 수준에서 얻어진 橱散係數를 가지고 活性化에너지식 (식[1])을 이용하여 活性化에너지를 구하였다. 그밖에 생재비중 (생재부피-전건무게 기준)은 생재시 측정한 가로, 세로, 높이를 이용하여 계산하였다.

3. 結果 및 考察

3. 1 橩散係數

擴散係數는 식[2]를 이용해 계산하여 Table 4.에 나타냈다. 본 실험에 사용한 오리나무 심재와 플라타너스 변재의 방사방향과 접선방향의 橩散係數는 Fig. 1.에 막대그래프로 비교하였다. 그럼에 나타난 바와 같이 모든 온도에서 방사방향의

Table 4. Average diffusion coefficients obtained from sorption data of alder and sycamore.

| Species | Temp. (°C) | No. of specimen | Diffusion coefficient ($\text{cm}^2/\text{sec} \times 10^5$) |
|---------|------------|-----------------|--|
| AHT | 30 | 11 | 0.198 (0.064)* |
| | 40 | 11 | 0.352 (0.134) |
| | 50 | 11 | 0.396 (0.127) |
| | 60 | 11 | 0.570 (0.216) |
| AHR | 30 | 13 | 0.256 (0.016) |
| | 40 | 13 | 0.426 (0.035) |
| | 50 | 13 | 0.506 (0.050) |
| | 60 | 13 | 0.681 (0.065) |
| SST | 30 | 13 | 0.213 (0.023) |
| | 40 | 13 | 0.387 (0.046) |
| | 50 | 13 | 0.469 (0.048) |
| | 60 | 13 | 0.673 (0.094) |
| SSR | 30 | 9 | 0.263 (0.041) |
| | 40 | 9 | 0.470 (0.090) |
| | 50 | 9 | 0.493 (0.071) |
| | 60 | 9 | 0.813 (0.158) |
| SH | 30 | 10 | 0.207 (0.027) |
| | 40 | 10 | 0.371 (0.041) |
| | 50 | 10 | 0.457 (0.029) |
| | 60 | 10 | 0.675 (0.093) |

* : Sample standard deviations.

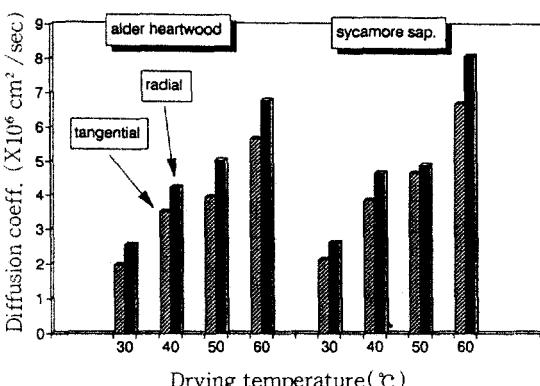


Fig. 1. Comparison of diffusion coefficients in radial direction with those in tangential direction at four temperature levels for alder heartwood and sycamore sapwood.

擴散係數가 접선방향의 橩散係數 보다 크게 나타났다. 연구자들의 실험에서도 같은 결과를 보였다

7, 17). Skaar⁶⁾은 American beech를 이용하여 얻은 같은 결과에 대해 방사조직이 방사방향의 확산을 도와주기 때문이라고 설명하였다. 칠레송(*Pinus radiata*) 심변재와 미송(*Tsuga heterophylla*) 심재를 사용한 침엽수실험에서도 낮은온도의 칠레송 변재를 제외하고는 대부분 같은 결과를 얻었다¹⁶⁾.

증기확산이 결합수확산보다 빠르므로 벽공이 많이 산재해 있는 방사단면을 통한 접선방향확산의擴散係數가 방사방향확산의擴散係數보다 크리라고 예상할 수 있으나 실제로는 대부분의 경우 접선방향확산에서 蒸氣擴散이 차지하는 비중이 매우 적고 벽공에 의해 방사단면이 비후되어 있어 접선방향의 결합수확산이 지체되기 때문이라고 설명할 수 있다¹¹⁾.

3. 2 活性化에너지

식[1]을 이용하여 구한活性化에너지를 생재비중(전건비중-생재부피 기준)에 대하여 Fig. 2에 나타냈다. 본 연구에서 사용된 13개 수종을 모두 구분되게 한 그래프에 표시 하면 너무 복잡하기 때문에 침엽수는 한가지로 표시하고 나머지는 수종별로 표시하였다. 실선은活性化에너지(E_a)가 비중(S_g)에 따라서만 변한다고 가정했을 때, 즉 식[6]에서 ‘ $b=0$ ’일 때를 표시한 것으로 식[6]의 “ b ”는 실제 측정된活性化에너지와 가정치와의 차이를 나타낸다.

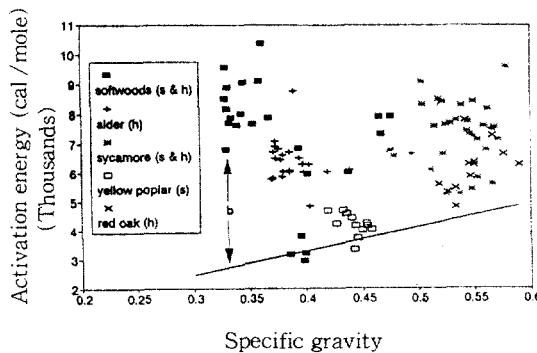


Fig. 2. Activation energies of hartwoods and softwoods are plotted against their specific gravities. “ b ” represents the difference between actual and theoretical(the solid line) activation energies.

Fig. 2에 보인 바와 같이 거의 대부분의活性化에너지는直線의上部에 위치함으로써 가정치보다 크게 나타났기 때문에 목재내 수분확산에는 비중이외 다른 요인이 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 직선에 근접해 있어 가정치와 비슷한 값을 나타내는 것은 칠레송 변재 접선방향(PST)과 튜립나무 변재(YS)로 추출물, 폐쇄막공 등에 의한 수분이동장애를 별로 받지 않는 수종들이다. 따라서活性화에너지는比重外因子, 즉 목재의 해부학적 구조에 영향을 받는다고 볼 수 있다.

각수종별 평균비중과 평균活性화에너지를 그리고 평균活性화에너지를 식[6]에서 구한 “ b ”값을 Table 5에 나타내었다. “ b ”값이 클수록活性화에너자가比重外因子의 영향을 많이 받음을 의미한다. 수종별 “ b ”값을 비교하기 편하게 Fig. 3에 막대그래프로 나타냈다.

Fig. 3.에서 동일 수종의 “ b ”값은 방사방향확산이 접선방향확산 보다 대부분 크게 나타났으나 칠레송 변재(pine sap.)를 제외하고는 그차이가 크지 않았다. 바꾸어 말하면 칠레송 변재의活性화에너지는 확산방향에 따른比重外因子의 영향차이가 크게 나타났다. 즉 칠레송 변재의 방사방향확산은比重外因子의 영향을 크게 받으나 접선방향확산은比重外因子의 영향을 거의 받지 않는다고 말할 수 있다.

Fig. 3.에 나타난 바와 같이比重外因子의 영향은 매우 복잡한 양상을 띠는데 이를 그룹별로 단순

Table 5. Average activation energies and the “ b ” values of various species

| Species | Thickness (cm) | No. of specimens | Sg | Activation E. (cal /mole) | “ b ” (cal /mole) |
|---------|-------------------|---------------------|------|------------------------------|------------------------|
| PST | 24.2 | 7 | 0.40 | 4566 (1646) | 1278 |
| PSR | 25.3 | 3 | 0.47 | 7722 (338) | 3859 |
| PHT | 24.9 | 2 | 0.33 | 7337 (770) | 4625 |
| PHR | 25.1 | 2 | 0.34 | 8089 (106) | 5294 |
| HHT | 23.7 | 8 | 0.35 | 8493 (975) | 5616 |
| HHR | 21.7 | 2 | 0.33 | 9236 (471) | 6524 |
| AHR | 25.0 | 11 | 0.40 | 6526 (794) | 3238 |
| AHR | 25.2 | 13 | 0.38 | 6543 (586) | 3420 |
| SST | 25.2 | 13 | 0.53 | 7333 (1193) | 2977 |
| SSR | 25.2 | 9 | 0.52 | 6872 (956) | 2598 |
| SH | 25.0 | 10 | 0.56 | 7574 (1045) | 2971 |
| YS | 25.8 | 12 | 0.44 | 4195 (396) | 579 |
| RH | 24.2 | 12 | 0.55 | 6166 (830) | 1645 |

* : Sample standard deviations.

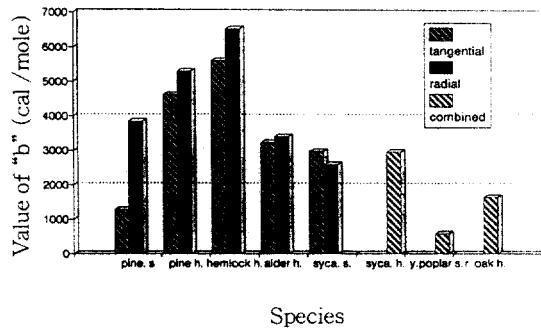


Fig. 3. Average activation energy differences between the actuals and theorecticals of 13 species.

화시키기 위하여 임의로 세그룹으로 나누어 점선으로 표시하였다. 그룹 I은 “b”값이 0에서 2,000 cal /mole 까지, 그룹 II은 2,000에서 4,000cal /mole까지, 그룹 III은 4,000cal /mole 이상으로 구분하였다.

각 그룹에 속하는 수종은 Fig. 4.에 더욱 자세히 표시하였다. 그룹 I에는 칠레송 변재 접선방(PST), 튜립나무 변재(YP), 적참나무 심재(RH)가 속했는데 이 그룹은 比重外因子의 영향을 거의 받지 않기 때문에活性化에너지에는 비중에 정비례한다. 그룹 II에는 오리나무 심재(AHR 와 AHT), 플라타너스 심변재(SSR, SST, SH) 등 적참나무를 제외한 모든 활엽수와 칠레송 변재 방사방향(PSR)이 포함되어 있다. 마지막으로 그룹 III에는 미송 심재(HHR 과 HHT) 와 칠레송 심재(PHT 와 PHR) 등 침엽수 심재가 속해 있는데 이 그룹은 비록 비중은 낮으나 比重外因子에 의해 높은活性化에너지를 나타냄을 알 수 있다.

여기서活性化에너지에 영향하는比重外因子가 무엇인가를 생각해 보면, 앞에서 언급한 대로比重外因子는 주로 목재의 해부학적 구조로서 수분이동경로, 벽공의 형태, 벽공내 추출물양, 타이로시스 유무 등이 포함된다고 할 수 있다. 추출물, 타이로시스 등으로 증기확산통로가 막히면 식[5]의 결합수확산 비율 (f_1)이 높아지므로 비중에 상관없이活性化에너지를 커진다.

Fig. 4.에서 침엽수내의 “b”값을 비교해 보면 침엽수심재 (HHR, HHT, PHR, PHT)는 변재

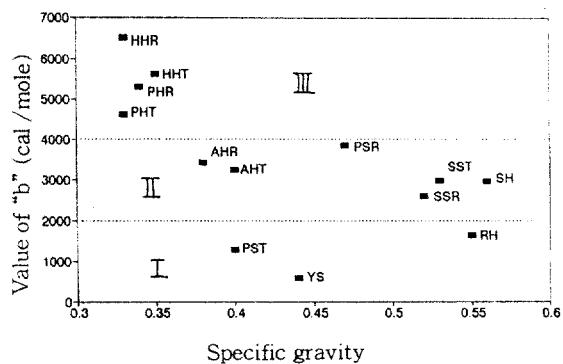


Fig. 4. Average activation energy differences between the actuals and theorecticals of 13 species are plotted against their average specific gravities. The dotted lines divides them into three groups.

(PSR, PST)보다 훨씬 큰값을 나타내는데 이는 침엽수심재의 벽공은 대부분 폐쇄벽공이고 추출물이 채워져 있어 이를 통한 증기확산이 거의 일어나지 않기 때문이라고 설명할 수 있다. 반면 침엽수변재에서는 증기확산이 심재보다 많이 일어나기 때문에比重外因子의 영향이 적음을 알 수 있다. 특히 침엽수변재에서 벽공은 방사단면에 주로 있어 접선방향(PST)으로 증기확산이 방사방향(PSR) 보다 훨씬 더 많이 일어남을 알 수 있다.

활엽수의 “b”값은 모두 침엽수심재의 것 보다 모두 작으나 침엽수변재 접선방향(PST) 보다 크고 침엽수변재 방사방향(PSR)과 비슷한 값을 나타낸다(Fig. 4.). 튜립나무 변재(YS)를 제외하고는 모두 그룹 II에 속하였다. (그림상으로 적참나무(RH)는 그룹 I에 속하여 있으나 그룹 II와 인접하여 있기 때문에 그룹 II로 보아도 될 것 같다.) 따라서 그룹 II III에 속한 수종에서는 벽공막공을 통한 증기확산은 그룹 I 보다 적게 일어나나 방사조직을 통한 확산이 일어났다고 볼 수 있다.

튜립나무 변재(YS)의 “b”값이 칠레송변재 접선방향(PST) 보다도 작다는 것은 튜립나무 변재의 확산이 비중외요인의 영향을 별로 받지 않고 일어났음을 의미하는 것으로 증기확산이 많이 일어났음을 짐작할 수 있다. 대부분의 활엽수는 벽공막이 두꺼워 이를 통해 증기확산이 일어나기 어려우나 튜립나무에는 100 nm에 이르는 벽공막공이

존재함이 밝혀졌다¹⁸⁾.

그룹별 수분이동 경로를 전기저항 모식도로 Fig. 5에 나타냈다. 저항의 크기는 그림에 나타난 크기와 같이 세포벽(R_1) > 방사조직(R_2) > 세포내강-벽공막공(R_3) 순으로 표시하였다. 그룹에는 침엽수와 활엽수 변재의 접선방향 확산이 포함되므로 세가지 수분경로 중에 방사조직(R_2)을 제외한 R_3-R_1 과 R_3 을 통해 일어나고, 그룹에는 침엽수 변재의 방사방향 확산과 대부분 활엽수 확산이 포함되므로 세포내강과 벽공막공 (R_3)만을 통과하는 경로를 제외하고 R_3-R_1 , R_2 를 통해서 일어나고, 그룹에는 침엽수심재 확산이 포함되므로 폐쇄벽공과 추출물에 의한 방사조직의 멀폐로 인하여 R_3-R_1 만을 통해서 일어난다고 볼 수 있다.

Fig. 5에 나타난 저항의 크기를 계산하면 $R_{\text{III}} > R_{\text{II}} > R_1$ 순임을 알 수 있는데 본 연구에서 얻은 活

性化에너지의 크기도 그룹 III > II > I 그룹 순을 나타냈다.

4. 結論

擴散係數와 온도의 관계를 알기위해서는活性화에너지를 알아야 하는데 목재는 수종별, 부위별, 확산방향별 서로 다른 확산경로를 가지고 있기 때문에 지금까지 연구발표된 결과로는活性화에너지는 일반관계를 찾기 힘들었다. 본연구에서는 지금까지 발표된 여러가지 수종의活性화에너지와 각수종의 해부학적 특성을 고려하여活性화에너지의 일반식을 만들었다.

活性화에너지는 수분이동의 장애를 극복하는데 필요한 에너지이며 비중이 클수록 수분이동이 어려우므로活性화에너지는 비중에 정비례한다고 가정하였다. 그러나 실제측정한活性화에너지를 분석한 결과 비중이외에도 해부학적 인자들이 수분이동경로에 영향을 미치므로 실제活性화에너지와 비중의 영향만을 가정한 가정치의 차이를 가져옴이 밝혀졌다.

比重外因子가活性화에너지에 차지하는 비중에 따라 아래와 같이 수종을 세그룹으로 나누었다.

그룹 I은比重外因子의 에너지값 ("b")이 0에서 2,000cal /mole로比重外因子의 영향을 거의 받지 않기 때문에 대부분의 수분이 증기확산으로 이동한다고 여겨지는 침엽수와 활엽수 변재의 접선방향 확산이 이그룹에 포함된다.

그룹 II는比重外因子의 에너지값이 2,000에서 4,000cal /mole로 증기확산과 결합수확산이 모두 일어난다고 여겨지는 침엽수변재의 방사방향 확산과 대부분의 활엽수심재와 변재의 확산이 이그룹에 포함된다.

그룹 III은比重外因子의 에너지값이 4,000cal /mole 이상으로比重外因子의 영향을 많이 받으며 대부분의 수분이 결합수확산으로 이동한다고 여겨지는 침엽수심재의 확산이 이그룹에 포함된다.

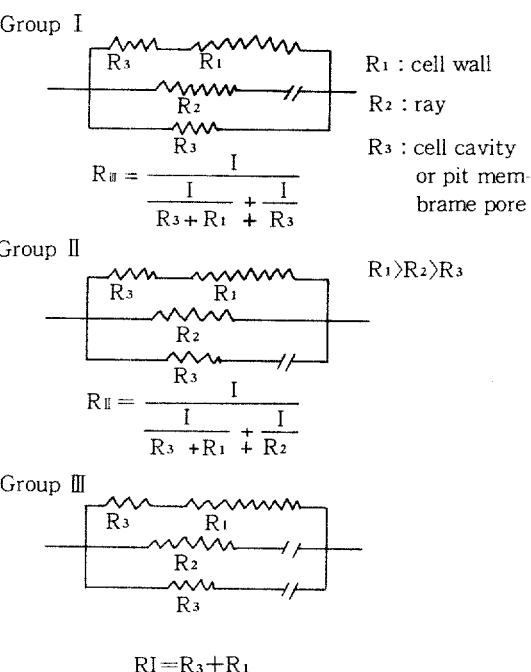


Fig. 5. Three electric resistance diagrams illustrate diffusion paths for three species groups. The discrete lines represent high resistance to moisture diffusion.

参考文献

1. Stamm, A. J. 1964. Wood and Cellulose Science. The Ronald Press Company, New York.

2. Bramhall, G. 1979. Sorption diffusion in wood. *Wood Sci.* 12(1) : 3-13
3. Stamm, A. J. 1956. Diffusion of water into uncoated cellophane, I. Form rates of water vapor adsorption, and liquid water absorption. *J. Physical Chemistry* 60 : 76-82
4. Tadokoro, Yuji et al. 1964. Water vapor diffusion through polymer films : cellulose acetate and polyvinyl acetates. *J. Sci. Hiroshima University Ser. A-II* 27(2-3) : 133-140
5. Wellons, J. D. and V. Stannett. 1966. Permeation, sorption, and diffusion of water in ethyl cellulose. *J. Polymer Sci. A-1* 4 (3) : 593-602
6. Stamm, A. J. 1959. Bound-water diffusion into wood in the fiber direction. *Forest Prod. J.* 9(1) : 27-31
7. Skaar, C. 1958. Moisture movement in beech below the fiber saturation point. *Forest Prod. J.* 8 : 352-357
8. Stamm, A. J. and R. M. Nelson, Jr. 1961. Comparison between measured and theoretical diffusion coefficients for southern pine. *Forest Prod. J.* 11 : 536-543
9. Biggerstaff, T. 1965. Drying diffusion coefficients in wood : as affected by temperature. *Forest Prod. J.* 15 : 127-134
10. Hart, C. A. 1988. A user's manual for a family of simulations of moisture sorption in wood. Dept. of Wood and Paper Science, North Carolina State University, Raleigh, N.C.
11. McNamara, W. S. and C. A. Hart. 1971. An analysis of interval and average diffusion coefficients for unsteady-state movement of moisture in wood. *Wood Sci.* 4(1) : 37-45
12. Atkins, P. W. 1982. *Physical Chemistry* 2nd ed. Oxford University Press, England.
13. National Research Council. 1929. International Critical Tables of Numerical data 5 : 62. International Critical Tables of Numerical data 5 : 62
14. Tarkow, H. and A. J. Stamm. 1960. Diffusion through air-filled capillaries of softwoods : I. Carbondioxide. *Forest Prod. J.* 10(5) : 247-250
15. Kang, Ho-Yang. 1988. Effect of Temperature on Unsteady-State Moisture diffusion Through Wood. unpublished Ph. D dissertation. Dept. of Wood and Paper Science, North Carolina State Univ., Raleigh, N.C.
16. Kang, Ho-Yang, 1991. Moisture movement in softwood and its activation energy. *Mokchae Konghak* 19(4) : 27-33
17. Stamm, A. J. 1960. Combined bound-water and water-vapor diffusion into Sitka spruce. *Forest Prod. J.* 10(10) : 524-528
18. Bonner, L. D. and R. J. Thomas. 1972. The ultrasturcture of intercellular passageways in vessels of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*) Part I : Vessel pitting. *Wood Sci. Technol.* 6 : 196-203

Sjöstrom 著, 李丙根譯

木材化學

大光文化社

沈鍾燮監修, 鄭希錫著

木材理學

서울大學校 出版部

辛東韶, 林奇杓, 趙南奭, 趙炳默外共著

林產化學

鄉文社