

木材の乾燥機構に關する研究

(第1報) 表面蒸發速度及水分傳導度と 板の厚さとの關係

農林技官 小 倉 武 夫

I. 緒 言

木材乾燥の研究目的の一つは各樹種に對する最も適當なスケジュールを決定することにある。この爲には木材の乾燥機構に關係ある性質を究明しなければならないが、此の性質は各種條件下に於ける表面よりの蒸發速度と内部水分の移動とに區別して考える事が出来る。此等の中表面よりの蒸發速度は單位時間に、單位面積より減少した水分量 $[g/cm^2 h]$ から容易に算出されるが、内部水分の移動量は一般に熱傳導率と同様に、單位面積に於いて距離 $1cm$ 、含水率差 1% の處を移動した水分量、即ち擴散係數 $\lambda [g/cm \cdot h \cdot \%]$ で現わされる。これは Egner 氏が行つた様に水分分布の時間的變化から求められるが、同一資料からこの水分分布の變化を測定することは出来ず、測定數値に正確を期することも出来ないで、實際にはこの測定に多大の困難を伴う。従つて筆者は水分傳導度という係數で水分移動の遲速、即ち難易を現わさんと試みているのである。

今後更に水分傳導度と擴散係數との關係を明らかにすると共に、各種條件に對する蒸發速度及水分傳導度等を求めて、スケジュール決定の基礎とする豫定であるが、この兩者は假令外界條件や樹種が同じであつても、板の厚さによつて影響をうけるものと考えられるので、先ず第一に之等の間の關係を明らかにしなければならないと思ふ。そこでこの爲の簡単な實驗を試み、二三の結果を得たので茲に發表する。

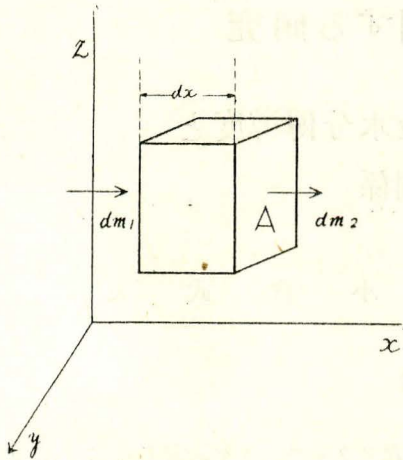
本實驗は東京大學農學部學生宇津木巖君の勞を煩わしたもので、同君に謝意を表す。

II. 水分傳導度の意義

先ず熱の傳導の場合と同様に含水率に差のある處では必ず水分の移動が行われるものと假定し、 dx の距離における含水率差 $du\%$ の處を dt 時間内に第1圖の立方體に蓄積される水分量を求める。

今單位面積に於いて、含水率の差 1% ある處を單位時間に、單位距離だけ移動する水分の量を擴散係數 λ とすれば、立方體の左側より dt 時間内に入つて來る水分量 dm_1 は

第 1 圖



$$dm_1 = -\lambda A \frac{\partial u}{\partial x} dt \dots \dots \dots (1)$$

である。次に立方體の右側に於ける含水率の傾斜は

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) \cdot dx = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \cdot dx \text{ であるから右}$$

側より出る水分の量 dm_2 は

$$dm_2 = -\lambda A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) \cdot dx \dots (2)$$

である。故にこの中に蓄積される水分量 dm は

$$dm = dm_1 - dm_2 = \lambda A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dx dt$$

$$\therefore \frac{dm}{dt} = \lambda A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dx \dots \dots \dots (3)$$

となる。

又 dt 時間内にここに蓄積された水分量 dm と含水率 $du\%$ との関係は

$$dm = du \cdot V_0 \frac{r_0}{100} \dots \dots \dots (4)$$

但し r_0 : 絶乾比重

V_0 : 絶乾時の體積

であるから、單位時間の蓄積水分量は

$$\frac{dm}{dt} = \frac{r_0}{100} A \frac{\partial u}{\partial t} dx \dots \dots \dots (5)$$

である。

$$\text{従つて} \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{100 \lambda}{r_0} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \dots \dots \dots (6)$$

但し $\left\{ \begin{array}{l} \lambda : \text{水分擴散係數} \left[\frac{g}{cm. h. \%} \right] \\ r_0 : \text{絶乾比重} \end{array} \right.$

となり、Fourier 氏の熱傳導の方程式と同じものが得られ、この解法は周知のものである。

即ち板の厚さを s cm (無限板とす)、最初の含水率を $u_0\%$ 、平衡状態になつた時の含水率を $u_0\%$ 、任意の時刻に於ける含水率を $u\%$ 、且 $U = u - u_0$ とし限界條件として次の三つを考へて、

$$\left. \begin{array}{l} x=0 \text{ に於いて } U=0, \text{ i. e. } u=u_0 \\ x=s \text{ に於いて } U=0, \text{ i. e. } u=u_0 \\ t=0 \text{ に於いて } U=u_0-u_0 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

この特別解を求めると

$$u = u_0 + \frac{4(u_b - u_0)}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-n^2 \left(\frac{\pi}{s}\right)^2 Kt} \sin \frac{n\pi x}{s} \dots\dots\dots (8)$$

但し n : 奇數

となる。この式は t 時間に於ける或點 (x) に於ける含水率を與えているが、 t が少しく大きな値になると、この級數の第2項以下は甚だ小さくなるので、之を省略すれば

$$u = u_0 + (u_b - u_0) \frac{4}{\pi} e^{-\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 Kt} \sin \frac{\pi x}{s} \dots\dots\dots (9)$$

となる。

次に或時間 t に於ける平均含水率を $u_m\%$ とすれば

$$\begin{aligned} u_m &= \left(\frac{1}{s}\right) \int_0^s u \, dx \\ &= u_0 + \frac{8}{\pi^2} (u_b - u_0) \left[e^{-\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 Kt} + \frac{1}{9} e^{-9\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 Kt} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{25} e^{-25\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 Kt} \dots\dots\dots \right] \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{即ち} \quad \frac{u_m - u_0}{u_b - u_0} &= \frac{8}{\pi^2} \left[e^{-\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 Kt} + \frac{1}{9} e^{-9\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 Kt} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{25} e^{-25\left(\frac{\pi}{s}\right)^2 Kt} \dots\dots\dots \right] \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

となる。

従つてこの式から、豫め $\frac{u_m - u_0}{u_b - u_0}$ と $\left(\frac{Kt}{s^2}\right)$ との曲線を書いておけば、 t 時間に於ける平均含水率 u_m を測定するだけで、 s 及 t は既知であるから、材の中心部 $\left(\frac{s}{2}\right)$ に於ける點の K を求める事が出来る。

今 K の意味を考察してみると、式 (6) に於いて $\frac{100 \cdot \lambda}{r_0} \equiv K$

と置いたもので、特に水分傳導度と假稱し、そのデメンションは $\left[\frac{L^2}{T}\right]$ 又は $\left[\frac{cm^2}{h. \%}\right]$ であり、擴散係數とは明らかに區別されるべきものである。 λ の値は含水率により相違する性質のものである事は既に Hawley 氏により唱えられ、Egner 氏によつても實證されている。従つてこの K の値も含水率により異なることになるのであるが、上記方程式を解いて K を求めた場合には、これは常に一定の数値たるべき性質のものであつて、Kollmann 氏は $K = \frac{\lambda}{r_0 \varepsilon}$ として、 ε を未だ性格は分らないが、 λ と同様に含水率に影響をうけるべき因子と看做し、 K は一定の

數値たるべきものと稱している。斯様な點は今後の研究に譲るものとして、兎に角 K で以て水分移動の程度を示す事は出来よう。 K の値を豫め知れば、式 (8) 又は (9) によりその時に於ける水分分布を、又式 (10) に依つて時々刻々の平均含水率 u_m %、換言すれば、所定の含水率迄に乾燥するための所要時間等を知る事が出来る。

併し乍ら水分傳導度 K を求める過程から明らかである様に、この値は同一材料でもその厚さにより影響をうけることは容易に想像される處で、厚さと K との間に何か或る一定の關係がなければ、求めた K の意味は極めて制限されることになるのである。従つて之等を明らかにするため次の實驗を試みた。

III. 實驗方法

實驗裝置 外界の條件を常に一定にする必要上恒温恒濕器を用い、溫度 45°C 、關係濕度 50% に於いて實驗した。

試驗材 樹種はブナ材、柁目木取りとし、寸法は $4\text{ cm} \times 7\text{ cm}$ ；厚さを 0.2, 0.5, 0.8 及び 1.1 cm の4種類とし、供試片の數は夫々4~5枚宛である。

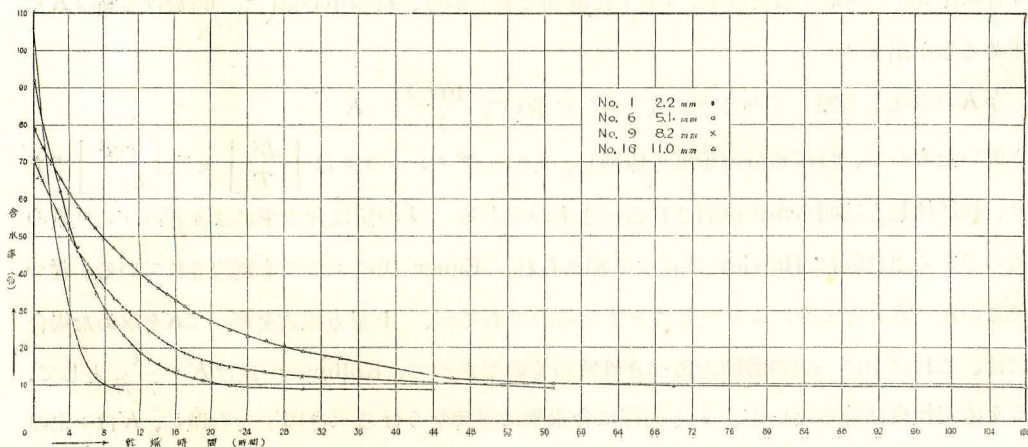
水分蒸發面は理論式の應用上、板の上、下面のみにとゞめるために、斯の様に板の厚さを比較的薄くして側面積そのものを小さくすると共に、側面には尿素系樹脂を塗布して、この面よりの蒸發を阻止した。

重量の測定は1時間毎に行い、而も恒温恒濕器内で秤量するのを理想とするが、裝置の都合上これが實施出来ず、供試片を取り出して秤量した。重量が變化しなくなつた時にはその外界條件に對する平衡含水率に到達したことになるから、實驗を終了し、絶乾重量を求めて、夫々の含水率を算出した。

IV. 實驗結果及考察

各供試片の最初の含水率に多少の相違はあつたが、測定結果の中各厚さの一例を示せば第2圖の如くである。

第2圖 測定結果の一例



凡ての測定結果から表面蒸發速度及水分傳導度と厚さとの關係を求め、若干の考察を試みよう。

(A) 表面蒸發速度

表面よりの蒸發量はその含水率の低下と共に減少する事は明らかであるが、更に之等の關係を詳らかにするために次の方法を用いた。

重量で示された測定値と時間との關係を平滑な曲線で結び、この曲線上の所定時刻に於ける接線より減少量 (蒸發量) Δw を求め、上下の表面積 $A \text{ cm}^2$ にて除した値を蒸發速度 $\frac{dw}{dt}$

第1表 測定結果の一例

實驗番號 No. 6

厚さ: 5.1 mm

表面積 $7.0 \text{ cm} \times 4.0 \text{ cm} = 28.0 \text{ cm}^2$

絶乾重量 $W_0 = 8.10 \text{ g}$.

時 間 (h)	重 量 (g)	含 水 率 (%)	減少重量 Δw (g)	蒸 發 速 度 $\frac{dw}{dt}$ (g/cm ² .h)
0	15.4	90.2		
1	14.55	79.6	0.85	15.1×10^{-3}
2	13.8	70.5	0.75	13.4
3	13.1	61.8	0.70	12.5
4	12.45	53.7	0.65	11.6
5	11.9	47.0	0.63	11.2
6	11.35	40.1	0.55	11.2
7	10.9	34.5	0.45	8.0
8	10.55	30.3	0.35	6.3
9	10.27	27.0	0.28	5.0
10	10.0	23.5	0.27	4.8
11	9.8	21.0	0.20	3.6
12	9.62	18.7	0.18	3.2
13	9.48	17.0	0.14	2.5
14	9.37	15.7	0.11	2.0
15	9.27	14.4	0.10	1.6
16	9.2	13.6	0.07	1.3
17	9.13	12.7	0.07	1.3
18	9.07	12.0	0.06	1.1
19	9.02	11.4	0.05	0.9
20	8.98	10.8	0.04	0.7
21	—	—	0.06	0.6
22	8.92	10.0		
23	—	—	0.05	0.5
24	8.87	9.5	0.04	0.1
30	8.83	9.0	0.03	0.04
44	8.80	8.7		

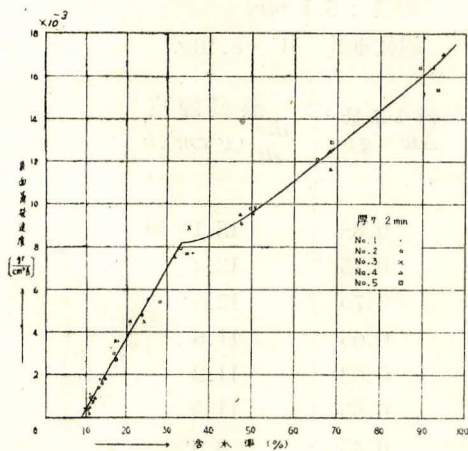
とした。第1表はこの測定値の一例である。

斯様にして求めた各厚さ毎の表面蒸發速度と含水率との關係は第3～6圖の如くで、多少の散布は免れないが、略々平均値的な關係として曲線を引くことが出来る。第7圖に此等の厚さとの關係を一括したが、この圖から次の事が言い得る。

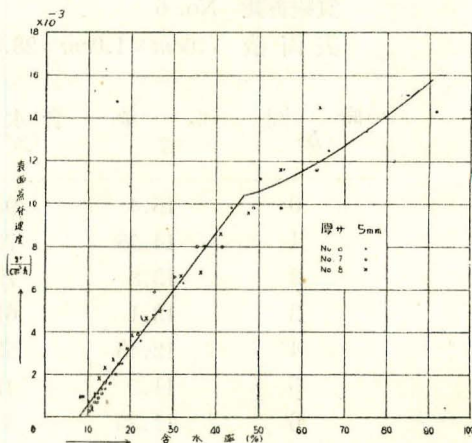
- 1) 含水率の多い間は表面蒸發量は多く、含水率の低下と共に漸次蒸發し難くなる。
- 2) 平均含水率 70% 以上の場合には板の厚さに關係なく蒸發速度は略々同じで、溫度 45°C、關係濕度 50% で、含水率 70% に於ける表面蒸發速度は $13 [g/h \cdot cm^2]$ であつた。

表面蒸發速度と含水率との關係

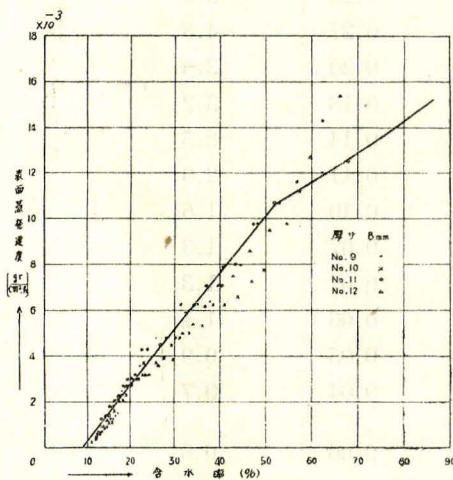
第3圖



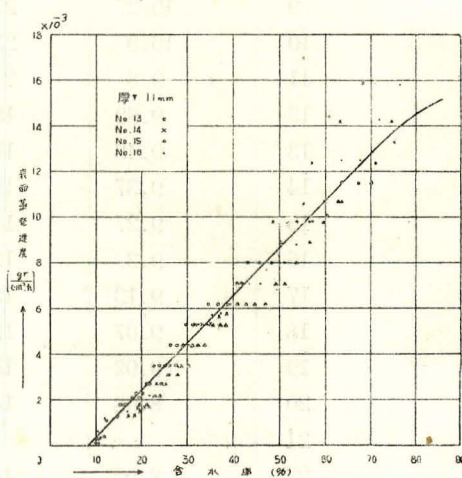
第4圖



第5圖



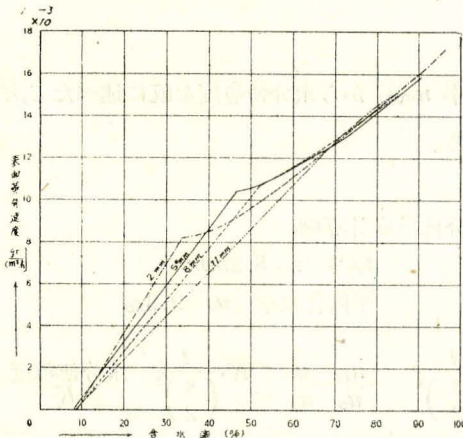
第6圖



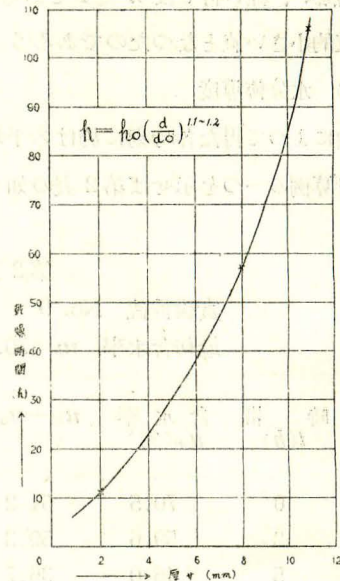
- 3) この様に含水率の多い間は蒸發量が多く、含水率の低下につれて蒸發量も漸次少くなるが、更に或る含水率以下になると急激に蒸發速度の減少が著しくなつて、第7圖の如く(厚さ 11 mm の場合は例外であるが)、蒸發速度に一種の變位點の存在するのが認められた。而もこ

の變位點以下では含水率の低下と共に比例的に蒸發量が少くなり、變位點の生ずる含水率は板の厚さの薄い程低くなっている。この様に變位點の生ずるのは、表面より水分が蒸發すると、

第7圖 各板厚に於ける表面蒸發速度の經過



第8圖 厚さと乾燥時間の關係



表面に近い極薄い層だけはその時の條件に平衡する含水率に迄急速に低下し、これに次ぐ内部層よりの水分移動が、この蒸發量に對し追隨し得なくなり、特に纖維飽和點以下になつて急激に内部移動が困難になるためであると考えられる。亦此の速に水分移動の困難となる層は板の厚さに關係しないので、變位點は厚い程高い含水率に於いて現われるものと想像される。斯様な現象の生ずることは疑いないのであるが、變位點の生ずる含水率に就いては、今後の實驗に俟つべきものがある。

4) 平均含水率 40% 以上に於いては厚さ 2 mm の蒸發速度が 5 及 8 mm のものより小さい結果を得たが、この點に就いては更に確める必要がある。

5) 平均含水率約 30% では、同一含水率に於ける表面蒸發速度は明らかに薄い程多くなる結果を得た。之は同じ含水率に於いては、厚さの薄い程水分傾斜が大きい爲と思われる。

6) 蒸發量は含水率の低下と共に比例的に減少し、含水率約 9% 程度に於いて何れも蒸發速度は零になり、平衡含水率に到達した。換言すれば 45°C, 59% に於ける平衡含水率は略々 9% 附近である事を示している。

7) 含水率 70~80% から平衡含水率に到達するに要した時間は第 8 圖の如くで、厚さ 2 mm を基準として他の厚さ (s) に對する所要時間 (h) は、

$$h = h_0 \left(\frac{s}{s_0} \right)^{1.1-1.2} \dots \dots \dots (12)$$

但し $\left\{ \begin{array}{l} h_0 = \text{厚さ } s_0 \text{ の所要時間} \\ s_0 = \text{基準の厚さ : } 2\text{mm} \end{array} \right.$

で現わされる。この指數を Egner は 1.7 : Moll 及 Kollmann は 1.5 であるとしているが比較的薄い、軽い材では $n < 1$ であるとさえ看做されている。本実験も用いた試験材が薄い爲に比較的小さい値となつたのであろう。

(B) 水分傳導度

実験によつて得た各時刻に於ける平均含水率 $u_m\%$ から水分傳導度を既に述べた方法で求めた。計算例の一つを示せば第2表の如くである。

第2表 水分傳導度計算例

實驗番號 No. 9

厚さ $s = 8.2\text{mm}$

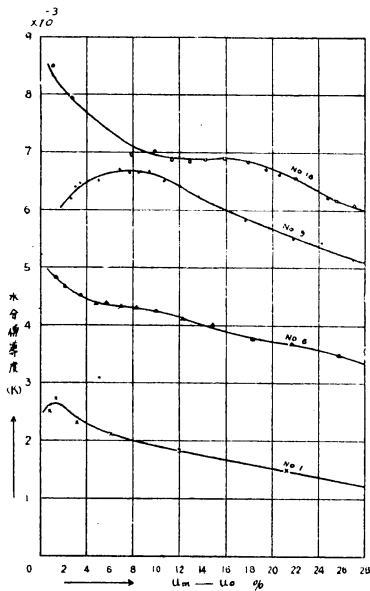
最初含水率 $u_b = 70.5\%$

平衡含水率 $u_0 = 9.3\%$

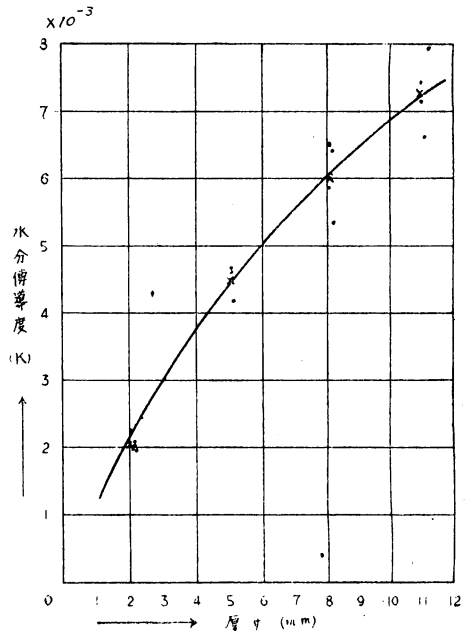
時 間 $t(h)$	含 水 率 $u_m(\%)$	$u_m - u_0$ (%)	$\frac{t}{\left(\frac{s}{2}\right)^2}$	$\frac{u_m - u_0}{u_b - u_0}$	$K \cdot \frac{t}{\left(\frac{s}{2}\right)^2}$	水分傳導度 K
0	70.5	61.2	—	—	—	—
2	59.6	50.3	11.90	0.821	—	—
5	46.0	36.7	29.85	.598	—	—
7	39.1	29.8	41.75	.486	0.210	5.03×10^{-3}
8	36.4	27.1	47.70	.442	0.246	5.15
9	33.6	24.3	53.65	.396	0.292	5.45
10	31.1	21.8	59.60	.356	0.328	5.49
11	29.0	19.7	65.55	.321	0.375	5.71
12	27.0	17.7	71.50	.289	0.419	5.85
13	24.7	15.4	77.45	.251	0.475	6.14
14	23.0	13.7	83.40	.224	0.520	6.24
15	21.3	12.0	89.35	.196	0.575	6.40
16	20.0	10.7	95.30	.175	0.620	6.50
17	18.7	9.4	101.25	.153	0.678	6.68
18	17.8	8.5	107.20	.139	0.711	6.65
19	17.0	7.7	113.15	.126	0.752	6.66
20	16.2	6.9	119.10	.113	0.798	6.70
21	15.7	6.4	125.05	.104	0.830	6.35
22	15.0	5.7	131.00	.093	0.875	6.67
24	14.3	5.0	142.90	.082	0.930	6.52
26	13.6	4.3	154.80	.070	0.990	6.41
28	12.8	3.5	166.70	.057	1.078	6.47
30	12.3	3.0	178.60	.049	1.14	6.41
32	12.0	2.7	190.50	.044	1.18	6.20
57	9.3	0.0	328.00	.000	—	—

この例で明らかな様に K の値は一定ではなくて、平均含水率に応じて異なる値を得た。併しこの方法で K を求める場合の必要條件は、その水分分布状態が水分分布を示す方程式 (9) によつて完全に現わされるという事である。然るに含水率の多い間の水分分布状態は方程式 (9) によつて現わされる様な簡単なものでなくて、既に龜井、Krischer 氏等の實驗結果が指摘している様に、一つの式で現わす事は到底出来ない。併し含水率が少なくなつても水分分布が方程式 (9) で現わされているか否かは實際問題として検討する事は容易でないが、式 (9) で示される水分分布の状態は纖維飽和點以下に於いて内部水分が表面蒸發に基く擴散によつてのみ表面へ移動する様な場合には、適合するものと看做す事が妥當であらう。それ故各々平均含水率 20% 以下に於ける K の値を求めたのである。この結果は第 9 圖の如く、含水率に応じて變化しているので含水率 20% 以下に於ける平均値を以てその水分傳導度とした。その値は第 3 表の如くで、板の厚さが厚い程水分傳導度は大きい結果を得た。(第 10 圖)

第 9 圖 K と含水率 ($u_m - u_0$) %



第 10 圖 K と厚さの關係



第3表 水分傳導度

實驗番號	厚 さ	水分傳導度	平 均 値	理 論 値
1	2.2mm	1.96	2.05×10^{-3}	2.05×10^{-3}
2	2.18	2.02		
3	2.15	2.08		
4	2.05	2.24		
5	2.07	1.98		
6	5.12	4.19	4.49	4.27
7	5.03	4.65		
8	5.05	4.63		
9	8.2	6.41	6.05	6.21
10	8.2	5.38		
11	8.1	6.54		
12	8.05	5.88		
13	11.2	7.94	7.28	8.01
14	11.0	7.43		
15	11.1	6.61		
16	11.0	7.15		

この厚さとの關係は、厚さ S_1 に對する水分傳導度を K_1 、 S_2 に對するものを K_2 とすれば、理論的には

$$K_2 = K_1 \times \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{n-2} \dots \dots \dots (13)$$

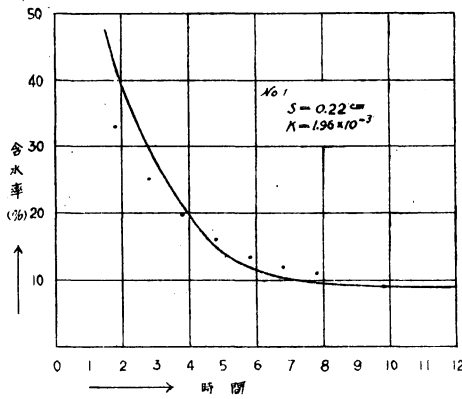
但し n : 指數、厚さと乾燥時間との關係式の指數で、 $n=1.5 \sim 1.0$ 程度

となる。この値を式 (12) より $n=1.2$ として厚さ 2mm を基準にすれば、第3表の理論値の如くなる。勿論この關係は n の値如何により異なるが、指數的の關係は存するであろう。

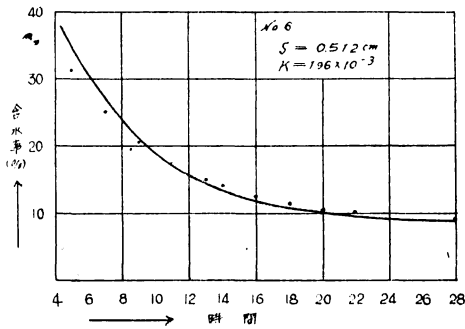
次に斯様にして求めた水分傳導度が果して適當な値であるか否かを検討してみる。その爲には方程式 (9) に於いて、厚さ S は既知であるから、求めた K の値を適用すれば、時間 t に對應する含水率を計算により求める事が出来るので、この計算値と、實測した含水率とが一致するか否かを検討すればよい。

斯様にして求めた結果の一例は第4表及第11~14圖の如く、含水率 20% 以下に於いては何れも 1% 以下の相違で、両者は極めて一致している。たゞ厚さ 0.2cm の場合のみは、他に較べて誤差は大きく、1.1~1.9% となつた。之は水分分布状態が、厚い場合と同様の方程式で現わされないことを示すもので、注目すべき點であるが、一般的には計算値と實測値とは極めて合致するものと言うことが出来る。従來斯かる K の値を求めた例は第5表の如く極めて僅かの

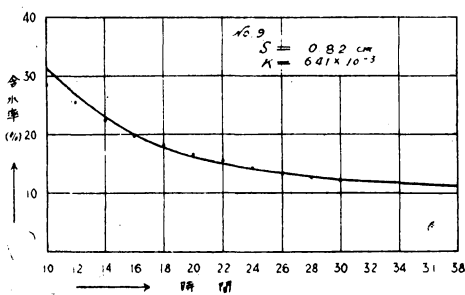
第 11 圖



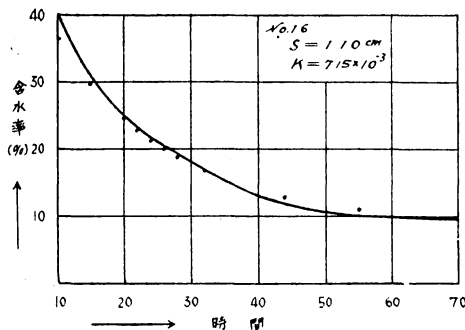
第 12 圖



第 13 圖



第 14 圖



第 4 表

實驗番號 No. 9

厚さ $S = 0.82 \text{ mm}$ 水分傳導度 $K = 6.41 \times 10^{-3}$

時 間 (h)	計 算 値 (%)	實 測 値 (%)	誤 差 (%)
10	28.7	31.1	-2.4
12	25.4	27.0	-1.6
14	22.5	23.0	-0.5
16	20.2	20.0	-0.2
18	18.4	17.8	+0.6
20	16.9	16.2	+0.7
22	15.7	15.0	+0.7
24	14.5	14.3	+0.2
26	13.6	13.6	0.0
28	12.8	12.8	0.0
30	12.3	12.3	0.0

第 5 表 既往の K の値

實測者	樹種	K	備 考
Scherwood	ヤナギ	0.0338	
Tuttle	モ ミ	0.029	
長澤武雄	ス ギ	0.025~0.029	板目、心材 30°C, 20%
龜井三郎	ヒノキ	0.01376	(厚さ 1.5 cm)
龜井三郎	ヒノキ	0.00739	30°C, 80% (厚さ 1.475 cm)

數例があるにすぎない。

此等の値の大部分は單なる數値としてのみ示され、外界條件等が不明であるがこの係數は同一樹種でも外界條件は勿論、厚さによつても異なることを明らかにする事が出來たので求めた數値を上述の値と比較検討する事は困難であるが、餘り懸隔のない値が得られた様である。

V. 結 言

以上述べた實驗結果より、蒸發速度は含水

率の多い間は厚さに無関係であり、水分傳導度は含水率 20% 以下に於いては一定値と見做され、而も厚さが増せば大きくなる性質のもので、厚ささえ考慮に入れれば、内部水分移動の難易を比較出来ることを明らかにした。従つて小さな供試片でも厚さを一定にして各種條件、各樹種に對して K を求めれば水分移動の難易を比較することが出来るわけである。併し水分傳導度 K はそのデメンションの示す様に、擴散係數と異り、移動した水分量を示すものではないが、乾燥スケジュール等の問題は蒸發量と内部水分移動量との關係から明らかにされるべきものと考えられるので、 λ と K との關係を若し求めることが出来れば、簡単な實驗結果から内部水分の移動量まで推定することが出来、斯の方面の研究に寄與する處大きいと思われる。それ故今後此等の關係を明らかにすべく研究をすゝめる意圖である。

VI. 摘 要

木材乾燥に關する研究には乾燥機構を明らかにすることが最も必要である。乾燥機構は表面蒸發と内部水分の移動とに分けて考えることが出来る。前者は單位面積より單位時間に蒸發した水分量で示されるが、後者は一般に單位面積に於いて距離 1 cm, 含水率差 1% の處を單位時間に移動した水分量即ち擴散係數 λ で現わすのが最も適當である。

併し水分擴散の微分方程式 $\frac{\partial u}{\partial t} = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ の K (水分傳導度) も亦擴散係數と比例的な關係にあり、内部水分の移動の難易を示すことが出来るので、先ず豫備實驗として、表面蒸發及水分傳導と板の厚さとの間に如何なる關係があるかに就き、ブナ材 4 cm × 7 cm; 厚さ 0.2, 0.5, 0.8, 1.1 cm の供試片で 45°C, 50% の恒温恒濕に於いて實驗を試み次の結果を得た。

(A) 表面蒸發速度

(1) これは含水率 70% 以上の多い間は板の厚さに關係なく、略々同じであるが、含水率の低下につれ漸次減少し、或る含水率に於いて、更に急激に減少して一種の變位點を生ずる。而も變位點は板の厚さの薄い程低い含水率に於いて現われる。

(2) 表面蒸發速度は含水率 30% 以下では薄い程多く、含水率の低下につれて減少し、9% に於いては零となつた。これは 45°C, 50% における平衡含水率が 9% であることを示している。

(3) 含水率 70~80% から 9% 迄に到達するに要する時間 h は厚さ 2 mm (s_0) を基準とすれば (h_0) 次の關係にある。

$$h = h_0 \left(\frac{s}{s_0} \right)^{1.1-1.3}$$

(B) 水分傳導度

(1) 水分傳導度は含水率に應じて異つた價を得たが、これは水分分布が方程式 (9) によつて現わされる範圍内に於いては一定たるべきものと看做し、含水率 20% 以下に於ける平均値を以てその水分傳導度とした。

その結果は次の如くである。

厚さ	2 mm	5 mm	8 mm	11mm
$K (\times 10^{-3})$	2.05	4.49	6.05	7.28

(2) この K を用いて時間に對する計算により求められたる平均含水率の計算値は、實測値と極めてよく一致した。従つてこの K の値は適切な値ということが出来る。

(3) 水分傳導度 K は擴散係數 λ の如く移動水分量を示すものではないが、厚さを考慮に入れば水分移動の難易を比較することが出来る。

参 考 文 献

1. L. F. Hawley: Wood-Liquid relation.
U. S. Dept. Agr. Bull. 1931.
2. 龜井 三郎: Untersuchung über die Trocknung fester Stoffe. Memoirs of the
College of Engineering Kyoto Imperial University.
Vol. III. No. 1 1934.
Vol. IX. No. 2 1935.
Vol. X. No. 3 1937.
3. 龜井 三郎 }
内田 俊一 } : 化學工業 昭和21年
八田 四郎 }
4. F. Kollmann: Technologie des Holzes. 1936.
5. 松本文三: 木材乾燥法
6. 松本文三: 大氣の溫度及濕度と木材中の水分との關係
鹿兒島高農二十五周年論文集 昭和19年11月
7. 長澤 武雄 }
鈎 俊一 } 板材の乾燥に關する解析的研究
九州大學農學部學藝雜誌 第3卷 第2號 昭和3年12月

Study on the mechanisms of the wood drying.

(I) On the relation between the evaporation-velocity, the moisture-conductivity and the thickness of wood.

To inquire the mechanisms of wood drying seems to be the most necessary in the study of wood drying. This mechanisms are distinguished between the evaporation from surface and the moisture-movement in wood. The former indicates the moisture-quantities evaporated from surface per 1 sq. cm, 1 hour, the latter express most reasonably the diffusion-coefficient λ , which is the moisture-quantities moved in wood by 1 cm. at the difference of 1 per cent moisture in 1 hour. But the moisture-conductivity K , the coefficient of the differential equation $\frac{\partial u}{\partial t} = K \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ for the moisture-diffusion, is proportional to the diffusion-coefficient and is, too, able to signify the relative difficulty of the moisture-movement in wood. This experiments were preliminary took place to find the relation between the evaporation velocity from surface, the moisture-conductivity and the thickness of wood with the test piece (*Fagus Sieboldies*) of size; length 7cm. breadth 4cm., thickness 0.2, 0.5 0.8 and 1.1cm., in the apparatus keeping at constant temperature 45°C. and relative humidity 50%. The obtained results are as follows.

A) evaporation-velocity from surface.

- 1) The evaporation-quantities from surface were approximately same independent of thickness of wood, in case of higher per centage than 70% moisture content, and then were graually decreased as moisture content decrease, moreover decreased rapidly at a certain per cent, namely seemed to have a inflection point. This inflection point may be showed at lower per cent moisture content thinner the thickness is.
- 2) The evaporation velocity from surface was decreased with the thickness and the moisture content below 30% moisture content, and become zero at 9%. This means that the equilibrium moisture content at 45°C, 50% is kept at 9%.
- 3) The times (h) took to dry from 70~80% to 9% moisture content were given by the following equation.

$$h = h_0 \left(\frac{s}{s_0} \right)^{1.1 \sim 1.2}$$

where s_0 ; 2 mm thick (standard)

h_0 ; time took to dry the 2 mm

s ; thickness (mm)

B) Moisture-conductivity.

- 1) The theoretically obtained moisture conductivities were different according to moisture content, but it should be considered this conductivities the mean value of each moisture content below 20% under consideration that its value should be constant in the range of the moisture content, in which the moisture

distribution is showed by the equation (9). Thus obtained moisture conductivities are as follows.

thickness (mm)	2	5	8	11
$K \quad (\times 10^{-3})$	2.05	4.49	6.05	7.28

- 2) The results by the theory, which are calculated by the equation (10), agreed fairly with the experiments as shown in the figure 11~14.
- 3) The moisture conductivity K does not showed itself the moisture-quantity moved in wood, but could compared the difficulty or not of moisture movement under consideration of the thickness.

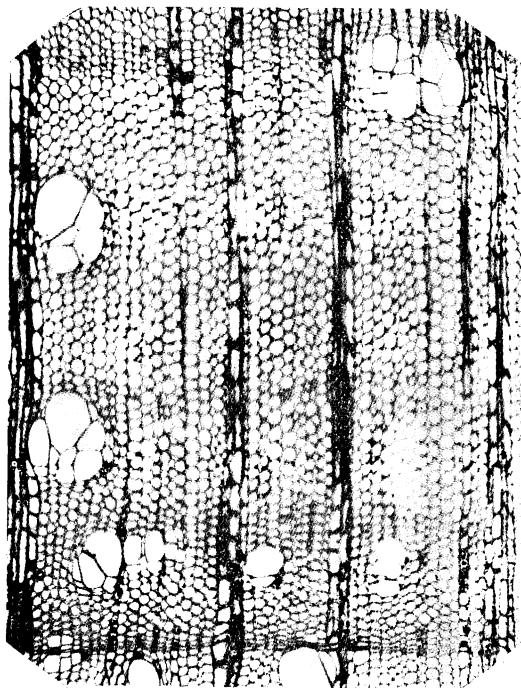


Fig. 1. 蜂巢狀に接合せる導管×55
Cross section; the honey-comb
arrangement of vessels.



Fig. 2. 厚膜の隔壁水纖維の配列型×15
Arrangement of septate fibers
with the thick wall.



Fig. 3. 髓斷面に於ける體線型×30
Pith ray in the tangential section.

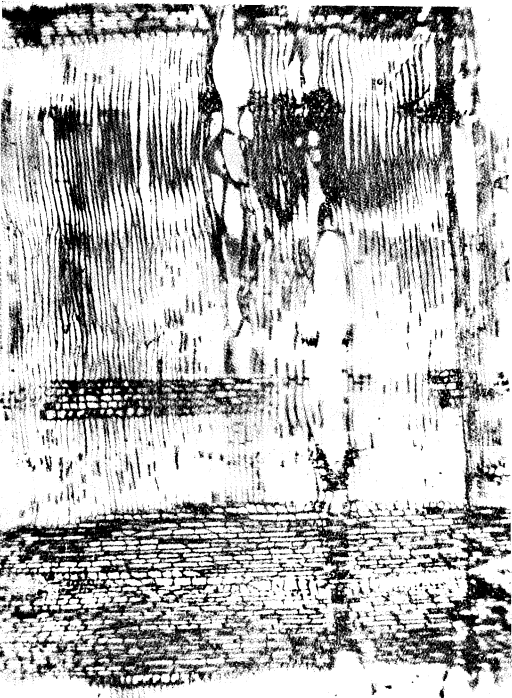


Fig. 4. 徑斷面に於ける體線型×20
Pith ray in the radial section.

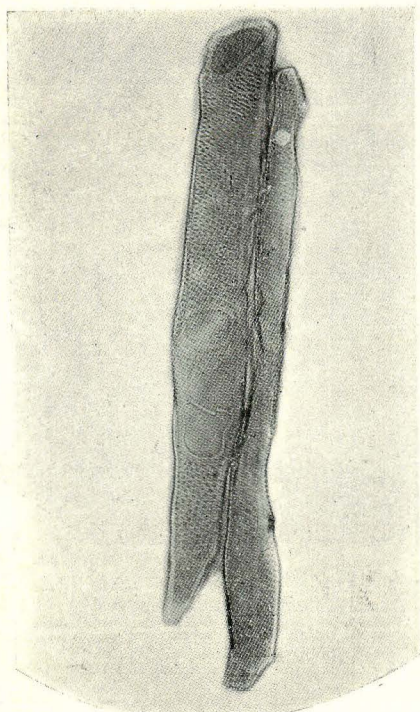


Fig. 5. 導管の側膜穿孔 其一(橢圓狀) $\times 95$
Lateral perforation of the
vessel. (elliptical form)

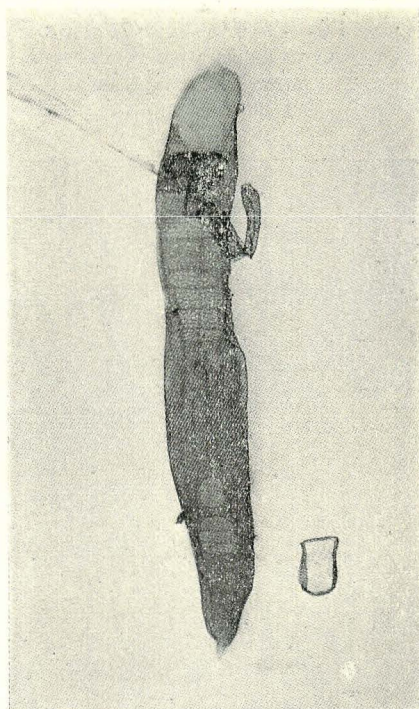


Fig. 6. 導管の側膜穿孔 其二(階段狀) $\times 80$
Lateral perforation of the
vessel. (scalariform)