

電気抵抗による木材水分分布の 推定について

Takeo OGURA and Kamoya ONUMA: On the computation of moisture distribution in wood by means of electric resistance.

農林技官 小 倉 武 夫
農林技官 大 沼 加 茂 也

I 緒 言

木材乾燥特に木材内部における水分の分布、移動等に関する研究には、木材を切断することなく含水量を知ることが出来ればどれ程裨益する処が大きいかが計り知れない。この方法として直ぐ考えられるのは電気抵抗によることであり、亦これ以外に方途はないと思われる。従来木材水分と電気抵抗との関係は古くは比留間⁽¹⁾ (1915), 更に Hasselblatt M.⁽³⁾ (1926), Stamm, A. J.⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾ (1927, 1929, 1930), Nusser, E.⁽⁴⁾ (1938) 等によつて明らかにされてはいるが、特にこの方法によつて水分分布を測定せんとしたものは殆んど見当らず、たゞ Stamm, A. J. が point electrode を用いてこれを試みたが、明確な成果は得ていない様である。筆者達はこの目的には針状電極を用いこれを板厚方向に数本相対して挿入し、各対の電流値を測定して水分分布を推測する以外に方途なしと考えた。併し斯様な方法で測定する場合木材の如き電解液を含む誘電体に直流電圧を加えると印加電圧と電流値との時間的關係に種々特異現象を生ずるのみならず、温度による影響等も著しいので、これらを明らかにしておく必要がある。従つて先ずこれら基本的事項につき予備的に実験し、次いで針状電極による電流と含水率との關係を求めて水分分布推定の可否を明らかにしたので、ここにその概要を發表する。この方面の研究の一助ともなれば望外の幸である。

終始御援助を賜つた斎藤木材部長に謝意を表すると共に本実験の主要部に亘る富井和子助手の勞によることを記し同嬢に謝す。

II 予 備 実 験

木材は誘電体である許りでなく、含まれる水分が單なる水分でなくて俗に樹液と称せられ種々な電解質的性質をもつている。この様なものに直流電圧を加えると樹液が電解性なるために電流は電圧を加えた瞬時より漸減する特異の現象を現わす。この外電気抵抗によつて乾燥過程中的の水分量を測定するためには、たゞ電流と抵抗の關係の外に基本的問題として印加電圧及び温度等が電流値に与える影響、その他電極が針状なるための電流の拡がりの問題等に就いて予

め検討しておく必要がある。このため先ずこれらについて予備的に実験を行つた結果から記述する。

1. 実験方法

電気抵抗の測定には直流電圧と電流値とから抵抗を求める最も普通の方法によつたが本研究の目的は木材中の水分分布の推定にあるので、電極は針状とし、温度を種々に保つため供試材を Fig. 1. に示す様に恒温器内に入れて測定した。

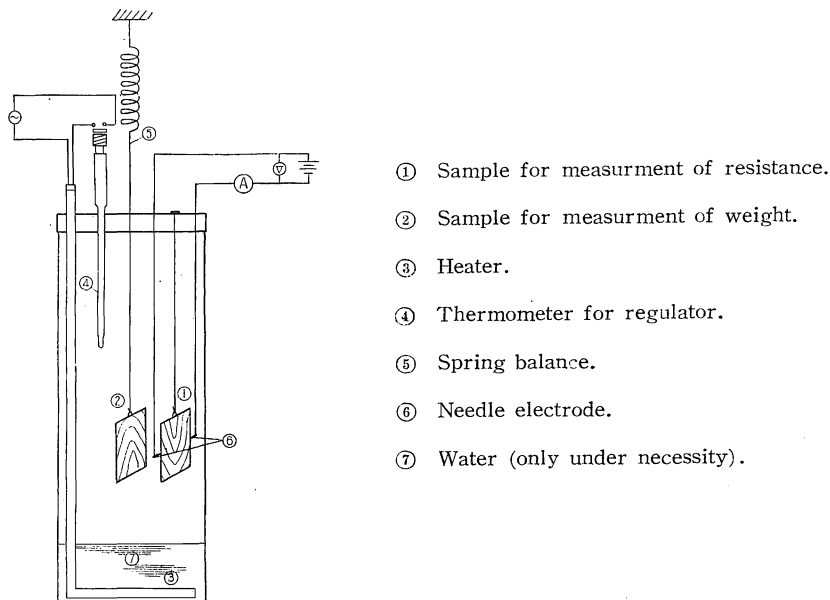


Fig. 1. Experiment apparatus

電源は電圧 30V までは蓄電池、それ以上はエリミネーターによつた。電極は Fig. 2. の如き眞鍮針状（根元の径 2 mm）とし、これを供試材に予め穴をあけた後打込んだ、最初は接触抵抗を考慮して穴にグラファイト粉末を押し込み針状電極を挿入したが、単に打込んだだけで何回繰返しても同一の値を示したのでこの必要はない様であつた。材の乾燥と共に益々電極は締めつけられ抜ける恐れもなかつた。

供試材はブナ辺材、板目木取りとし、電気抵抗は常に接線方向において測定した。寸法は $10 \times 10 \times 0.5$, $10 \times 10 \times 2.5$ 及び $20 \times 10 \times 5.0$ (単

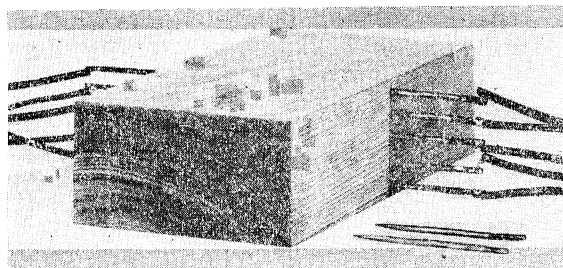


Fig. 2. Needle electrodes and how to put them into board.

位: cm) の3種とし実験の目的に応じて夫々適当なものを選んだ。供試材の温度は恒温器にて所定の温度に保つたが、常に針状熱電対を挿入して測定した。亦測定中における供試材の重

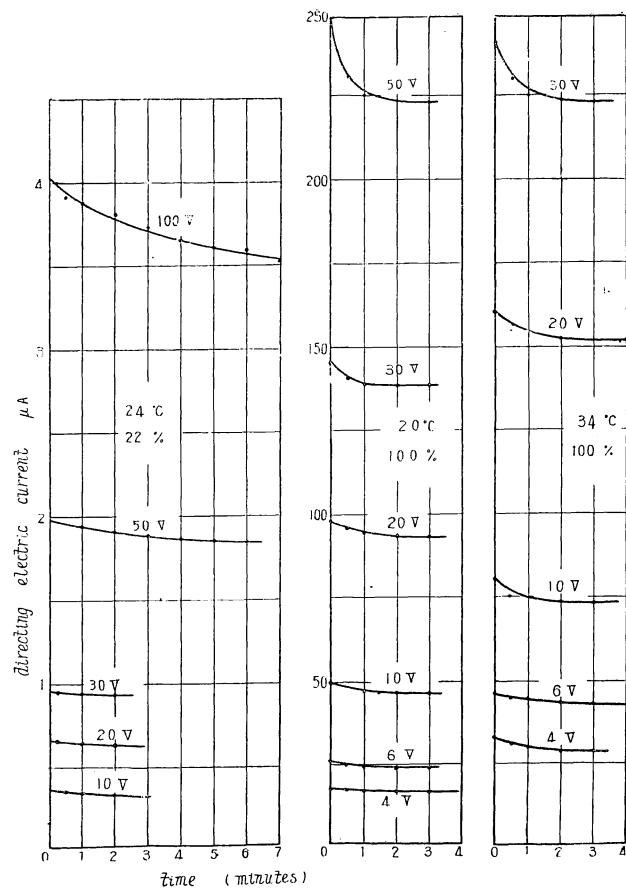


Fig. 4. Effect of moisture content on electric current.

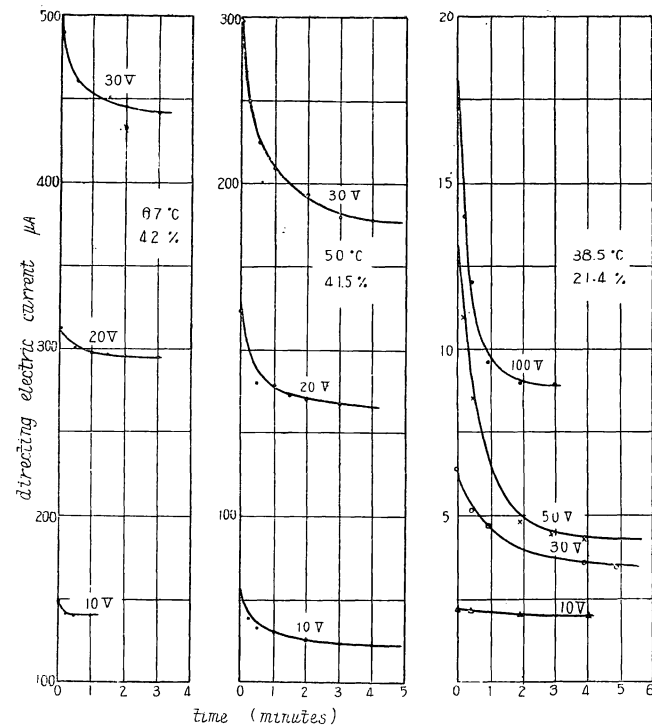


Fig. 3. Effect of directing electromotive force on electric current.

量変化に対しては別に設けた同一寸法の材を同装置内に吊し、常に重量を測定し、供試材がこれと同量の変化あるものと見做した。

2. 実験結果

A. 電流の時間的变化

木材に直流電圧を加えると電流は印加瞬時より漸次減少するが遂には伝導電流のみになつて変化しなくなる。而もこの漸減程度は木材の含水率、印加電圧及び温度等によつて異なるのでこれらの関係を供試材寸法 $10 \times 10 \times 0.5(\text{cm})$ について求めた。その結果は次の如くである。

(i) 印加電圧による影響

木材の含水率 21.4%, 内部温度 38.5°C 及び夫々 41.5°C ; 50°C ; 42°C ; 67°C について各種電圧を加えて求めた電流値の変化は Fig. 3. の如くである。即ち印加電圧が高くなる程漸減の傾向は著しく、特に電圧 50 V 以上になるとこの傾向が顕著であつた。

(ii) 木材含水率による影響

常温 ($20 \sim 24^\circ\text{C}$) において含水率約 100% と 22% の供試材で電流の時間的变化を測定した結果は

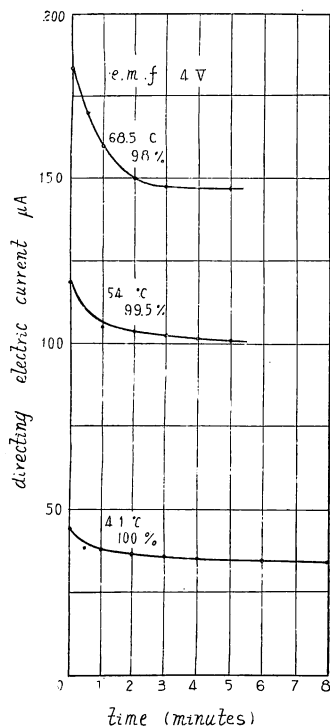


Fig. 5. Effect of temperature on electric currents.

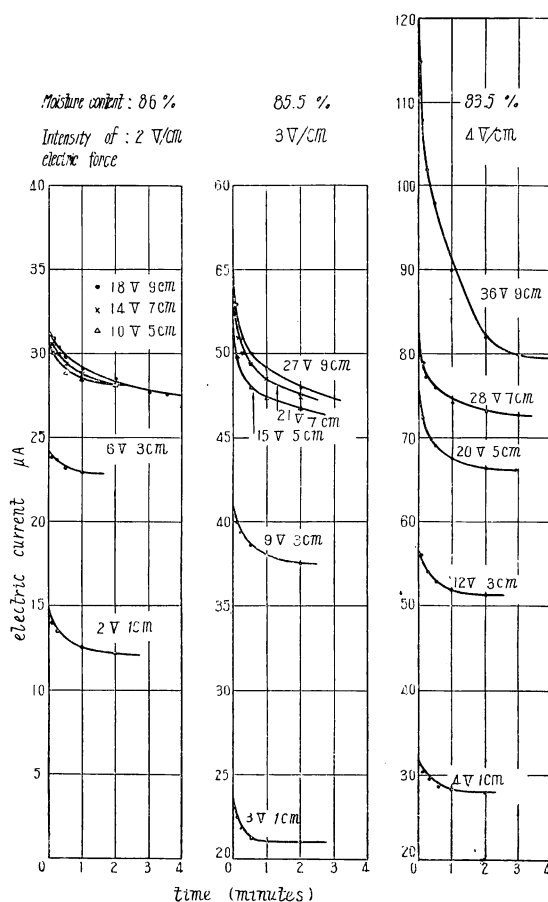


Fig. 6. Rate of electric current change in the case intensity of electric field is equal.

Fig. 4. の如くで、印加電圧の同じ場合は含水率の高い方が漸減の傾向は著しく、その程度も前項と同様に印加電圧の高くなる程甚だしい。併し印加電圧が10V以下の低い時は常温であれば含水率の如何に拘らず電流は最初から殆んど変化しないようである。

(iii) 温度による影響

含水率略 100% の供試材について前項(i)の結果から電流の減少傾向を余り示さない程度の低電圧4Vを加えて電流漸減状況の温度による影響を求めた結果をFig. 5. に示した。温度の低い時は殆んど時間的漸減を示さないが、温度が高くなる程この現象は著しくなっている。印加電圧が高い時にはこの傾向の更に甚だしくなることは言うまでもない。

(iv) 電極間の影響

この場合は実験の都合上針状電極を板目面に垂直に挿込んで測定した。含水率の高い時の結果はFig. 6. の如くで電場の強さが同じ場合には電流の時間的漸減傾向は何れも同じ様に現われるがその伝導電流の値はFig. 7. に示した様に電極間隔の短い程少くなる傾向を示している。併し普通の抵抗体であれば電場の強さが同じときは流れる電流の強さも亦同じ筈であるがこのにも木材の特異性がある。これは後述する電流の拡がり電極間距離の短い時は充分でない為ではないと思われる。この傾向は電場の強さが大き

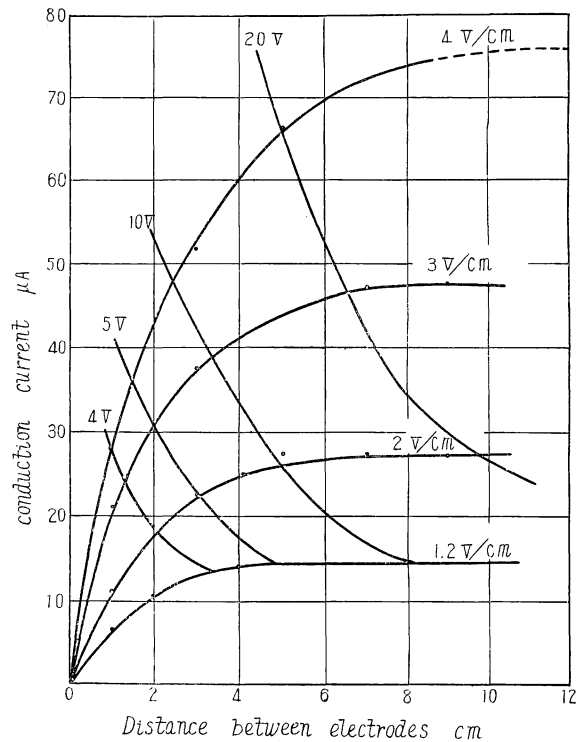


Fig. 7. Relations between conduction current and electrode-distance at various intensity of electric fields. (m. c. 84~86%)

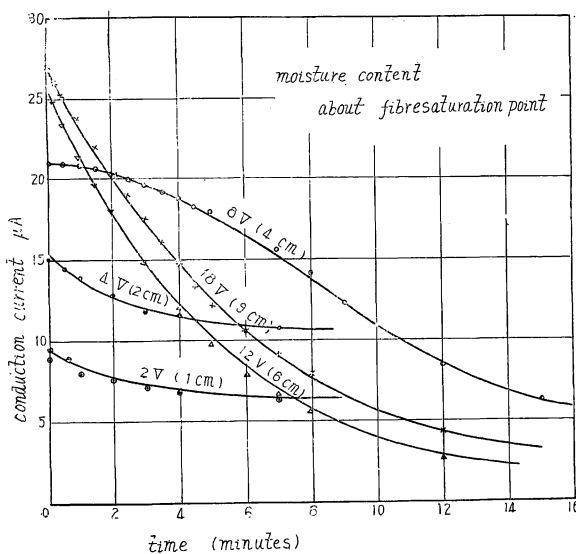


Fig. 8. Rate of electric current change at 2 V/cm

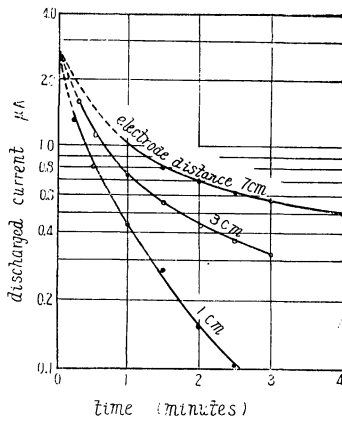


Fig. 9. Rate of discharged current change at 2v/cm

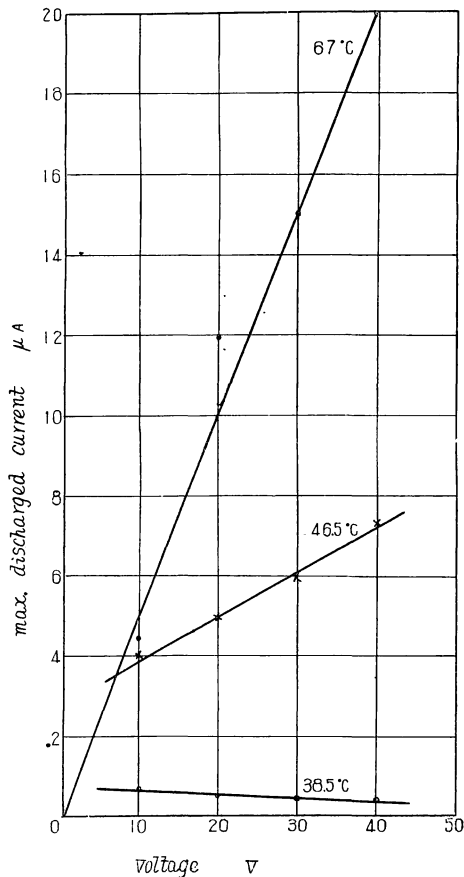


Fig. 11. Relations between max. discharged current and voltage at various temperature.
(m. c.=42%)

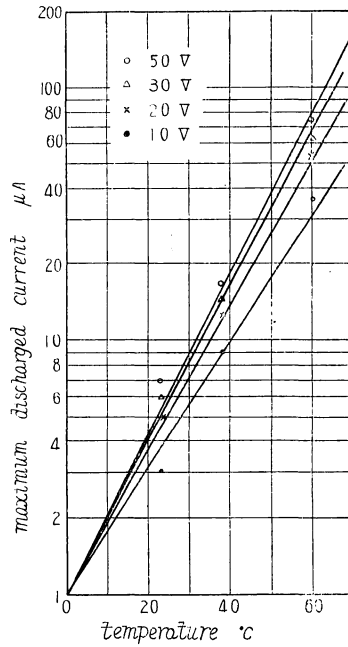


Fig 10. Relations between max. discharged current and temperature
m.c.=98%

くなる程著しくなっている。亦電極間隔の大きい程電流漸減の傾向の甚だしいことも Fig. 6. から明らかである。然し含水率が繊維飽和点附近である場合には電流漸減の傾向は Fig. 8. に示した様に電極間距離によつて極めて不規則で、特に電極間隔 4 cm の場合だけは趣が全く異なっているが、この原因は明らかでない。一般に繊維飽和点附近の電気的性質は偏差が多く特異な状態になるようである。

これらの結果から電流の時間的に漸減する程度は木材の含水率の多い程、印加電圧の高い程、温度の高い程、又電極間隔のある程著しい事を知るのである。この事は電流の漸減する現象の原因から或程度推定されることであらう。併しその原因とても充分は明らかに

されていないが、A. Joffé 等の説によると誘電体内の空間電荷の分布が変化し、樹液が電解質なるため電極附近に成極作用に基く逆起電力が生じ、これが時間と共に増大して生ずる所謂吸収現象によるものとし、更に木材の如き双極分子を含む場合はこれが摩擦抵抗をうけつつ廻転するために、流れる時間と共に減少する吸収電流もあると見做されている。これらが原因とすれば印加電圧が高く、含水率が多い場合に減少傾向の著しくなることは容易に背首され、更に温度が高くなると電解的成分のイオン解離及び内部摩擦抵抗が増大するために特にその影響の著しいことも理解されるであろう。

今電極附近に成極に基く逆起電力が生じているものとして電流値が伝導電流のみになつた時に電源を外し両極を検流計を通して短絡しその放電々流を測定した。供試片含水率約 100%，常溫，及び電場の強さ 2V/cm の時の結果は Fig. 9. の如く電極間距離により異なるが、何れも放電瞬時の電流値は略々同じであり、極に集積されていた電荷が略等しいことを示している。

亦電極間距離の短い程放電される時間も速やかなことを示している。電極に蓄積された電荷は温度が高い程多いことは当然であるが、上述の如き最大放電電流値の温度との関係を求めて Fig. 10. を得た、即ち温度が高くなると最大放電電流、換言すれば集積電荷の量は略々指數的に増加している。併し含水率 42% の供試材について上述と同様の実験を行い、放電電流を測定した資料からその最大電流と印加電圧、温度等の関係を求めると Fig. 11. に示した如くで Fig. 10. の如き規則的な結果は得られなかつた。即ち特に温度 38.5°C においては印加電圧の少い程最大放電々流は僅が乍ら増加した結果を得た、これは偶然の結果かも知れないが、含水率の繊維飽和点より稍高い点では異常な現象を現わすこともあるという一資料としてこれを示したにすぎない。

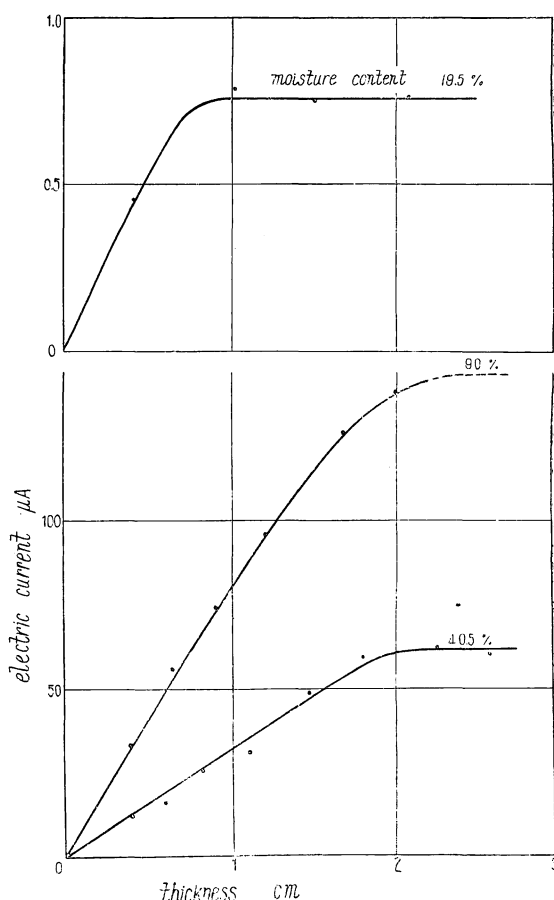


Fig. 12. Effect of the thickness on electric current. e.m.f. 10v; electrode-distance 5cm.; 2v/cm

以上述べた結果から電流値によつて含水率を推定する場合は温度、印加電圧、電極間距離等に充分の考慮を払わなければならないことを知ると共に、電流値の時間的变化に就いては必要な精度を考慮すれば 10 V 以下の電圧においては印加後 1~2 分経過した時の値を用いて実用上支障ないものと思われる。

B. 電流の拡がり

供試材の相対する面に針状電極を挿入し、電圧を加えた時に流れる電流の拡がりとは材の断面積（電流の流れ得る面積）に対して如何程になるかを検討してみる必要がある。そこで寸度 $10 \times 10 \times 2.6(\text{cm})$ の各種含水率の供試材を用い、電圧 10V、電極間隔 5cm とし、電流値を測定した後、電流の方向と平行の相対する面を 5mm 程度づつ鉋削して電流を測定し、更にこ

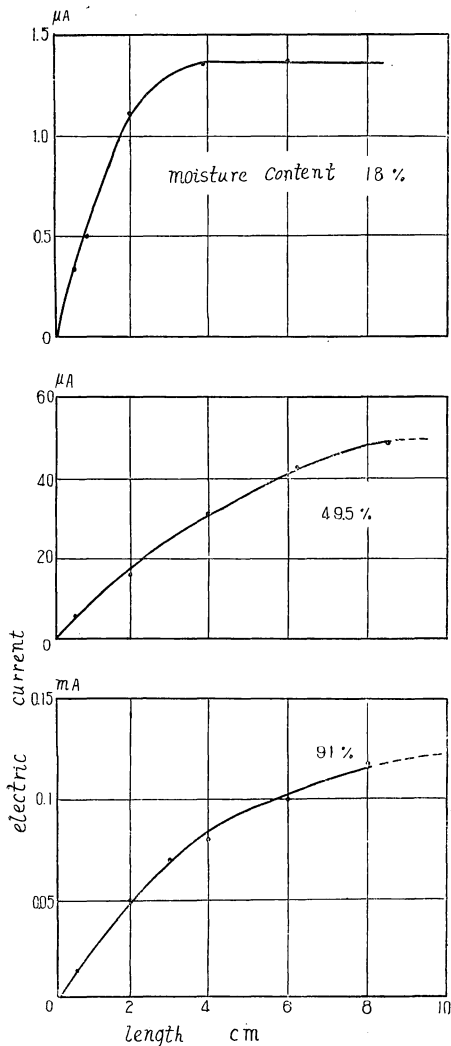


Fig. 13. Effect of the length on electric current. e.m.f. 10V; electrode-distance 5cm; 2V/cm

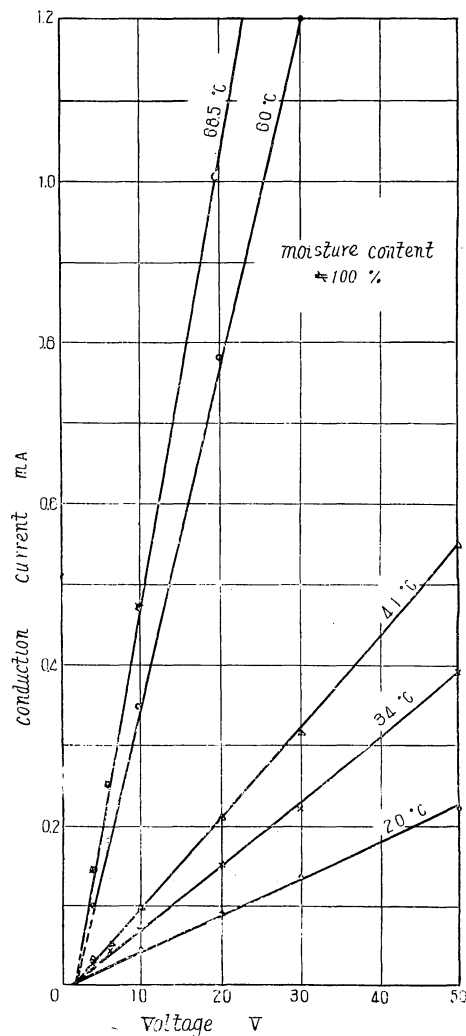


Fig. 14. Effect of voltage on conduction current at various temperatures.

の操作を反覆して次第に断面積を小さくしてその時の電流値を測定した。

板目及び木口面について実施した電流値の変化は夫々 Fig. 12, 13. の如く何れも或る断面積以上では電流値は一定であるが、それより小さくなるに伴い電流値も略直線的に低下している(木口面を切断した場合の高含水率を除いて)。かくの如く電流の通過する面積が減少するに伴い電流値の低下するのは電極が針状であつても電気力線は可成り拡大され、電流が拡がっているのではないと思われる。

然し本結果によると電流値の減少する限界寸度が幅の方向(繊維方向)では含水率の多いとき約 10cm, 気乾材では 5cm であるのに対し、厚さ(半径方向)の方向では夫々 2~3 cm, 1 cm 程度であるため、電流の拡がりの度は繊維方向が遙かに著しいものと思われる。かかる現象は特に水分分布を測定する場合に注意すべき点と思われる。

尙この結果から求めた電気力線の密度即ち電気伝導度を材の断面積と同一の平板電極を用いて実験した比留間の結果と比較してみると Table 1. の如く略一致した。

Table 1.
Specimen: Plain sawed board. Moisture content = 15%
(Beech.)

		Electrode*	
		Needle	Plate
Cross section	(cm ²)	3×2.6	4×4
Amp.	(A)	1.35×10^{-6}	26×10^{-6}
Voltage	(V)	10	110
Distance between electrodes	(cm)	5	4
I	$\left(\frac{A}{cm^2}\right)$	0.130×10^{-6}	1.62×10^{-6}
σ	$\left(\frac{1}{\Omega \cdot cm}\right)$	6.5×10^{-8}	5.9×10^{-8}

where: $\sigma = \frac{I}{E}$; E: intensity of electric field.

* from results by Hiruma.

C. 伝導電流値の電圧, 温度による影響

既に(A)にて述べた如く直流電圧を加えると、その瞬時より電流値は漸次減少するが、遂には時間と共に変化しない値を示すに至る。この電流値が伝導電流の値といわれ、これの印加電圧及び温度による影響を求めてみた。

(i) 印加電圧による影響

含水率の極めて多い 100% 程度、或程度乾燥した約 40% 及び気乾状態の 15~16% 等の含水率 3 段階の供試材について伝導電流値を最初は 4~6 V の低電圧から次第に電圧を高めて求めた。その結果は Fig. 14~16 に示した如くである。これらの関係も固より温度によつて異なると思われるので、大体 30~70°C 範囲内の各種温度にて測定した。今これらの結果を通覧

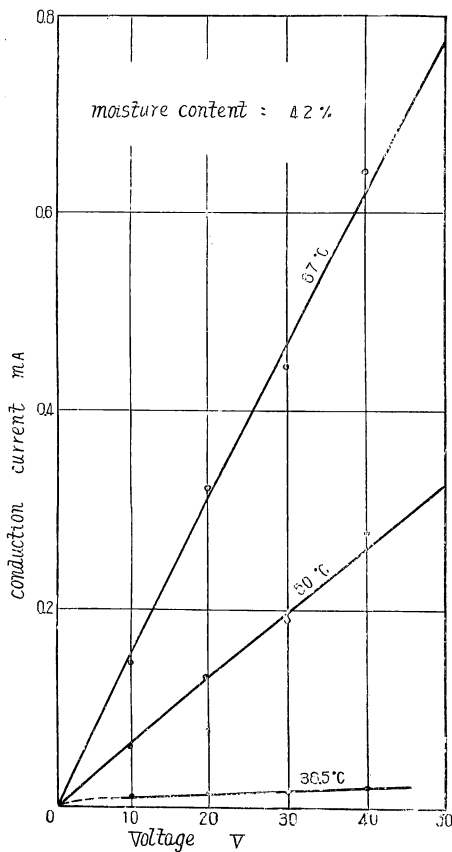


Fig. 15. Effect of voltage on conduction current.

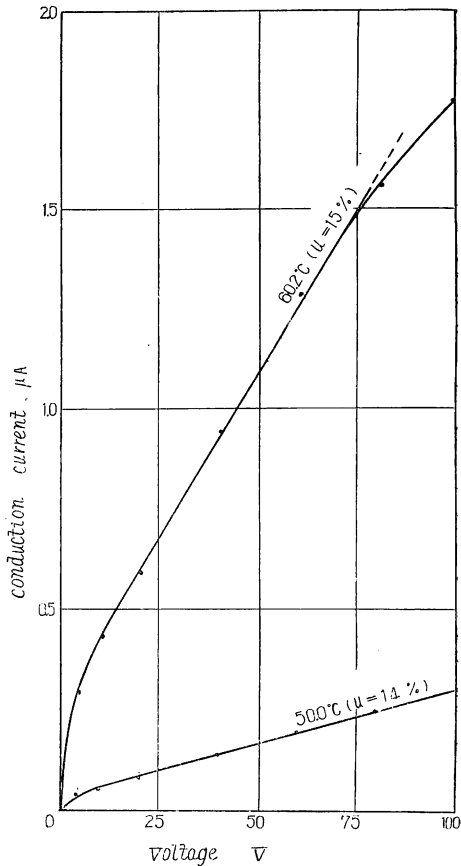


Fig. 16. Effect of voltage on conduction current.

すると含水率によつてその傾向が多少異なつてゐるようである。即ち含水率の極めて高い場合 (Fig. 14) は伝導電流値は印加電圧と正比例的に増加してはいるが、特に温度 40°C 以上においては同一温度の測定値を結ぶと 凡て原点をはずれて、略 2V の点に集中してゐるようである。これは前述した電極と反対電位のイオンが極附近に集中して生じた逆起電力に相当するものと思われる。含水率 40% 附近の結果は Fig. 15 の如く略原点を通る直線的関係にあるが、気乾状態においては Fig. 16 の如く印加電圧の或程度以上では電圧と電流値は略直線の関係にあるが、電圧の低い場合には高い時に比して原点附近において著しい凸形の関係を示すようであり、この傾向も温度の高い程顯著に現われている。

然し同じ気乾状態でも最初に高い電圧において伝導電流値を測定し、次第に電圧を低下させて測定した結果によると、電流値と電圧の関係は Fig. 17, 18 の如く何れも常に原点を通過する直線関係にある。

これらの結果から考察すれば電圧と伝導電流値は本来原点を通る直線関係にあるのが、木材の如き電解液を含む誘電体では最初高い電圧を加えるとイオンを一定方向に配列せしめるた

め、その後これより低い電圧を加えてもイオンの移動は起る事なく、電圧に比例する伝導電流が流れるのであろう。併し最初に低電圧を加えその後次第に電圧を増す場合には、電圧の増す毎に新たなイオン移動を生ずるため電流が必ずしも電圧に比例しないのではないかと思われる。この様な事実は実際に電流値を測定する場合留意すべきことである。

(ii) 温度による影響

木材の如く導電が電解的のもので影響される場合には、イオンの解離及び内部摩擦抵抗が温度の影響を著しくうけ、一般には電流の強さは温度について次の如き指数函数的変化をうける。

$$\alpha = \alpha_0 e^{-at}$$

前項の測定値から印加電圧の同一のものにつき電流値と温度との関係を求めると Fig. 19, 20の如く略同様の結果が得られた。この様に電流の値は温度の影響が甚だしいので、

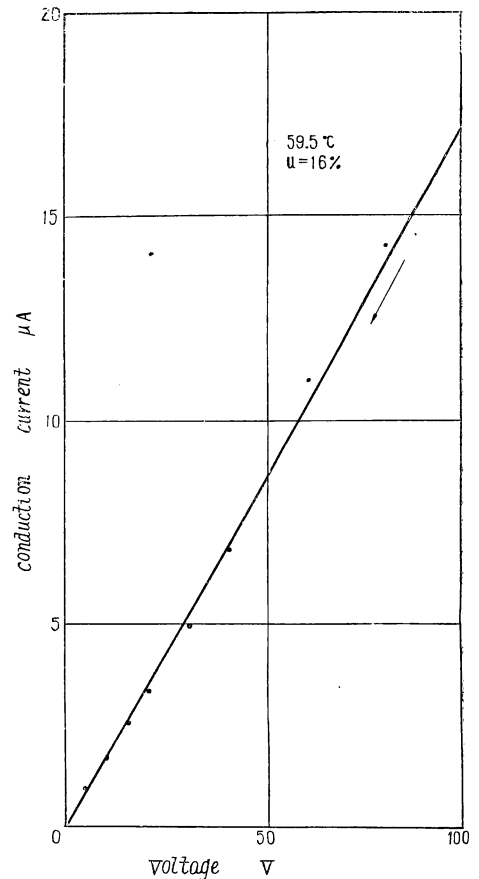


Fig. 17. Effect of voltage on conduction current.

抵抗を測定する場合には特に注意を必要とする。

Ⅲ 電気抵抗による水分分布の推定

木材中の水分分布を電気抵抗によつて推定するためには先ず前項の予備実験の結果に基いて針状電極を用いた時の抵抗と含水率の関係を均一な含水率の材料と水分傾斜を有するものとに就いて夫々求め、更にこれらの電気抵抗による水分分布の推定値と実測値とを対比して本法の実用性を検討してみた。こゝにその概要

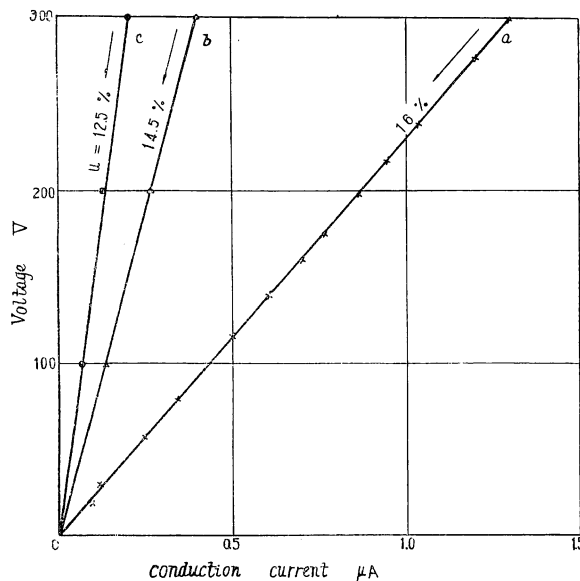


Fig. 18. Effect of voltage on conduction current. (at 20~22°C)

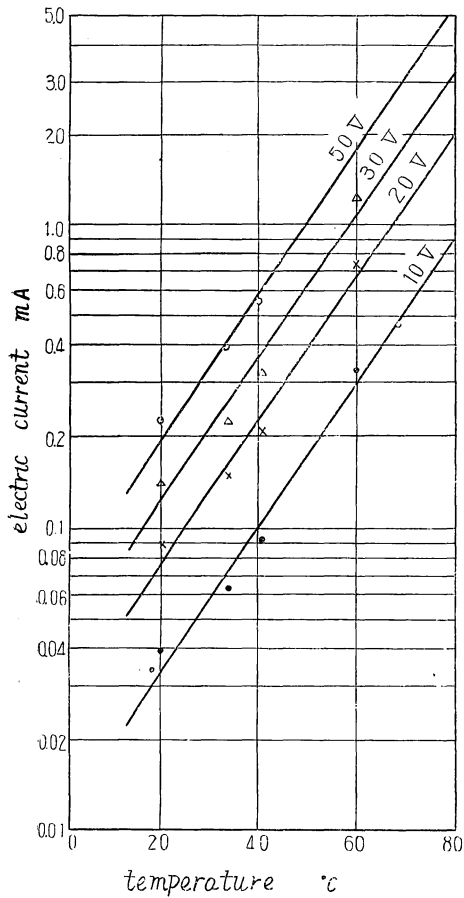


Fig. 19. Effect of temperature on electric current. ($u=100\%$)

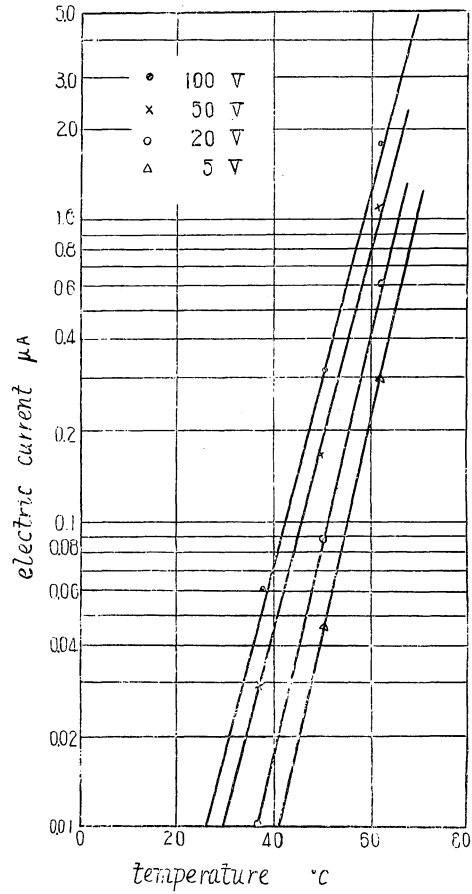


Fig. 20. Effect of temperature on electric current. ($u=15\sim16\%$)

を記す。

1. 実験法

木材中の水分分布が均等な場合とそうでなく水分傾斜のある場合とでは針状電極による電気抵抗と水分との関係が異なることは想像に難くない。前者の場合については既に述べた予備実験の中から同温度における電気抵抗と含水率との関係を整理すれば求められるので、特に実験を行わなかつた。それ故後者に関してのみ次の如き方法で実験を試みた。

水分傾斜のある場合の測定法

面積 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、厚さ $5\sim10\text{mm}$ の供試片の中央に相対して針状電極を挿入し（電極尖端間隔 5cm ），Fig. 21 の如く支持台に取付けて重量測定に便ならしめた。最初供試片を水中に浸漬して含水率を約 150% に保た

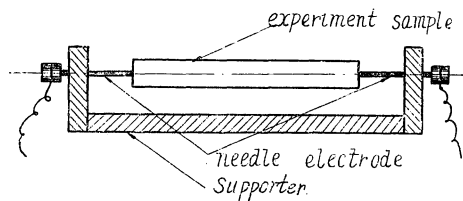


Fig. 21. Supporter of sample board.

針状電極を挿入，支持台に取付けた後電気抵抗を測定し，爾後常温にて僅かづつ乾燥せしめ，含水率略 2~3% 宛減少した毎に抵抗を測定するという如く，絶えず表面より水分を乾燥せしめ水分傾斜（その程度は不明であるが）を保たせた状態でその時の重量と電気抵抗とを測定した。

2. 実験結果

A. 水分分布の均等な場合

予備実験での資料から同温度における電気抵抗と含水率との関係を求めてみると Fig. 22 の如く，測定点は比較的疎に散布されているが，電流値と含水率との関係は何れも同じ傾向を示

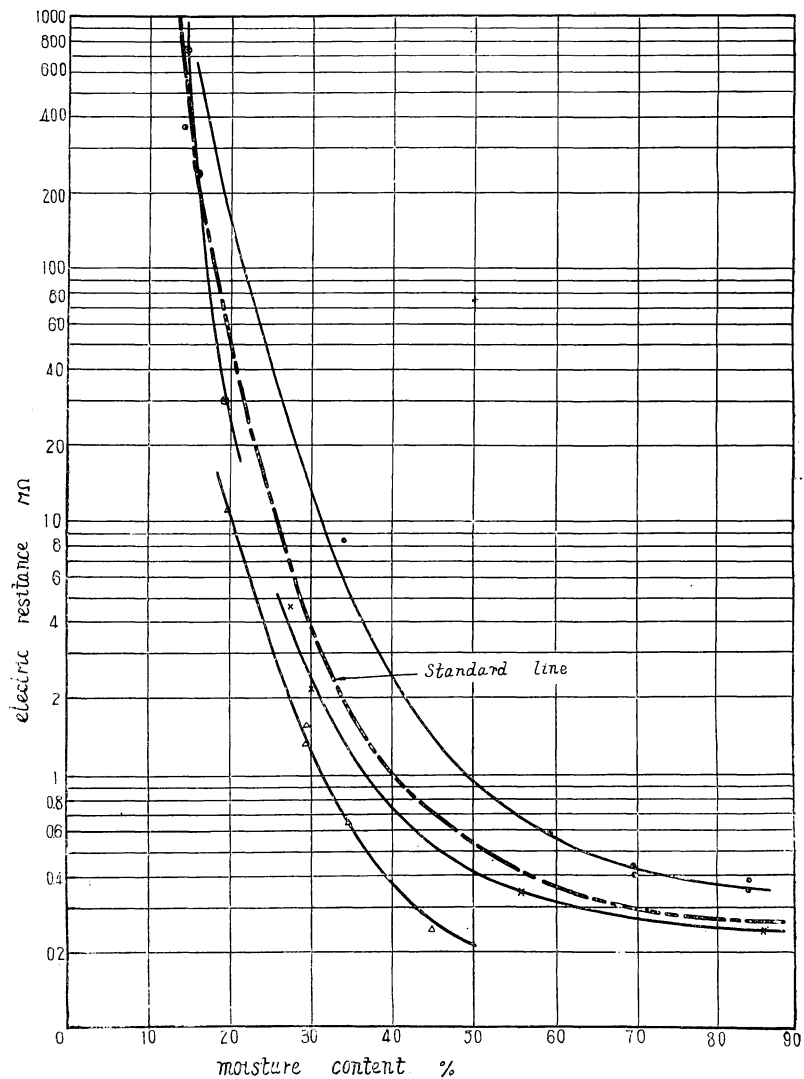


Fig. 22. Effect of electric resistance upon the moisture content in the case of no moisture gradient.

し、各曲線は平行している。これは抵抗値が各個体により異なるにしても水分との関係においては同じ傾向のあることを示している。これらの曲線の略平均値的曲線を太破線で示して、これを一応標準線としたが、今実測の結果含水率に応ずる電流値を知れば他の電流値に応ずる含水率はこの標準曲線に順ずる関係あるものとして、これに平行的曲線から推定することが出来る。

B. 水分傾斜のある場合

材の表面より水分を蒸散させて常に水分傾斜を保たせ乍ら重量を減少せしめ、各段階において電気抵抗を測定した。電流値は既に述べた様に時間と共に減少するが、この場合の如く電圧 6 V では 1~2 分間で略一定値になるので、こゝでは電圧印加後 1 分経過（1 分間経つてもまだ減少の甚だしいときは 2 分後）した時の電流値から抵抗を計算した。

各含水率に対する電気抵抗の関係を求めた結果は Fig. 23 の如くで、一つの含水率に対する電気抵抗は区々であるが、何れも前項と同様に含水率と抵抗の関係は同じ傾向をもつてい

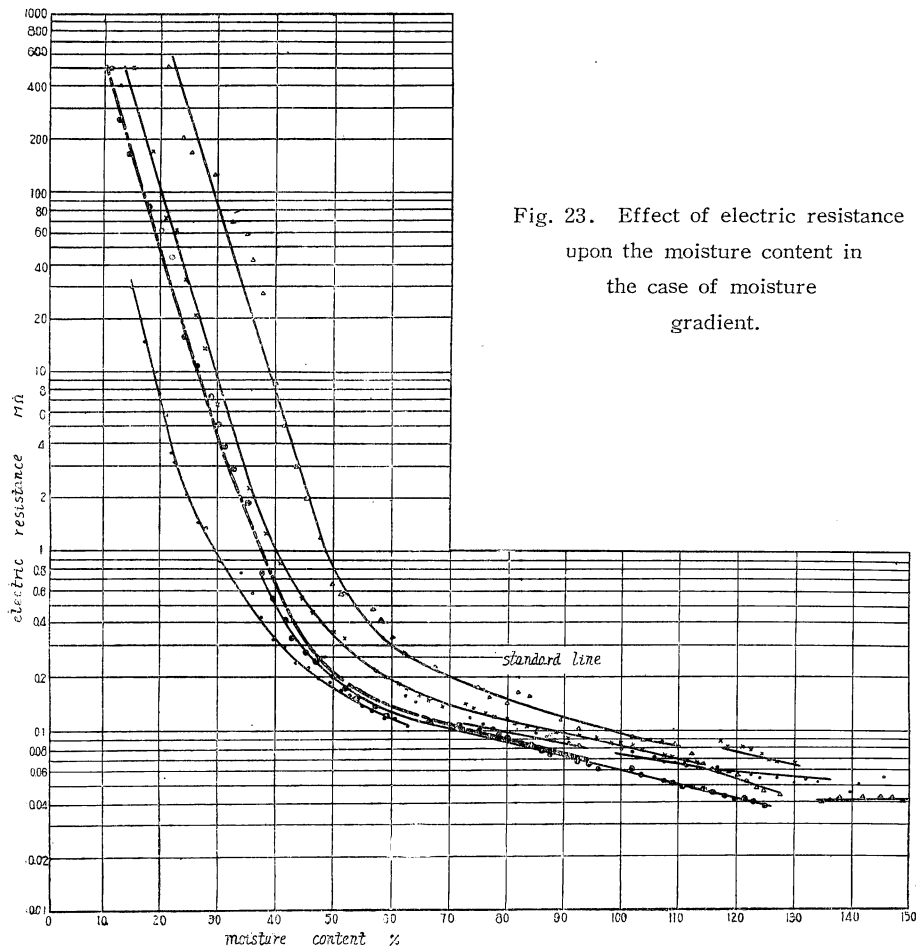


Fig. 23. Effect of electric resistance upon the moisture content in the case of moisture gradient.

る。従つてこれらの関係の平均値的傾向を選んで含水率と抵抗との標準曲線とし、これを太破線で示した。亦水分傾斜のある場合単に中心部のみの抵抗でなく、中心部より表面に至るまでの3~4ヶ所で抵抗値を求めたときの含水率と抵抗の関係を一括図示すれば Fig. 24 の如くで、これに上述の標準曲線をも示したが、相互に平行のもの、交錯せるもの等区々であるが、概括的には略一致していると見做せよう。

この標準曲線を前項の水分傾斜のない場合の標準曲線と比較すると含水率 33% 位迄は全く

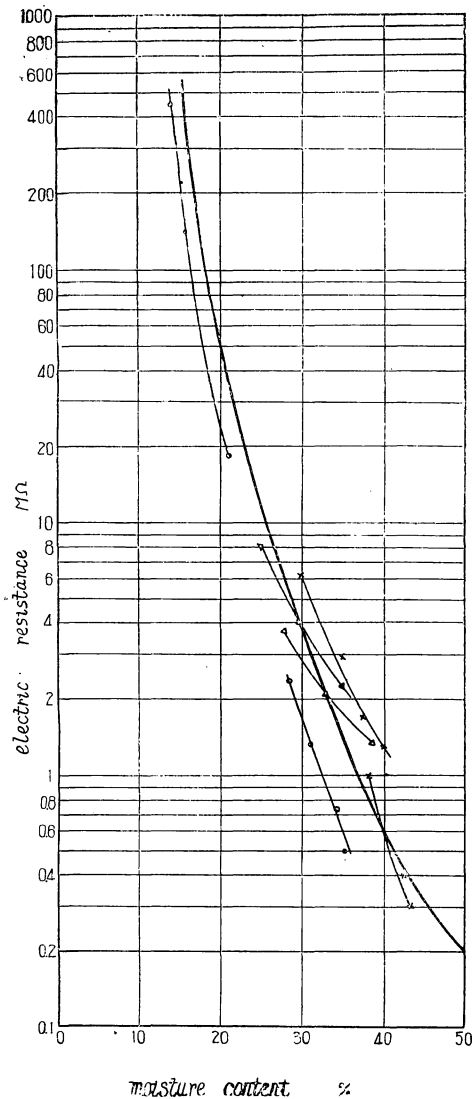


Fig. 24. Relationship between the moisture content and the electric resistance measured on 3~4 points in direction of thickness when moisture gradient are made.

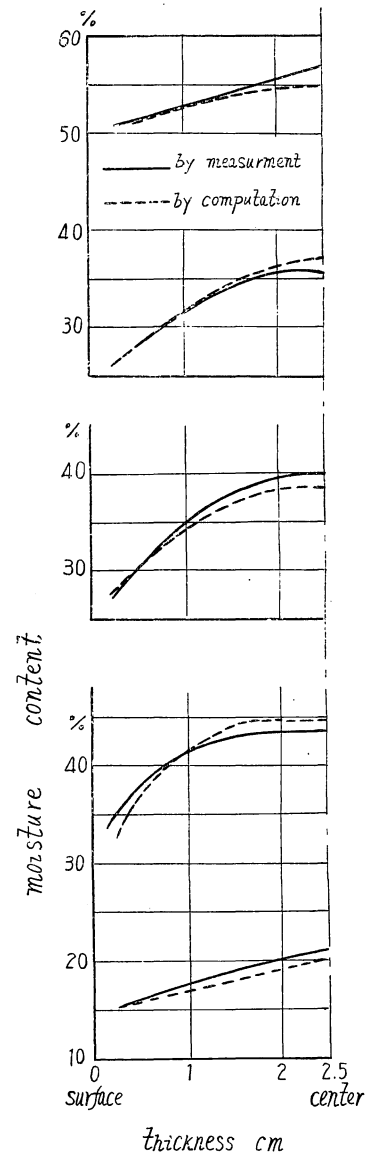


Fig. 25. Comparison the moisture distribution by computation with that of measurement.

同じ関係にあるがこれ以上になると前者は同じ含水率に対する抵抗の値が後者より次第に小さくなっている。これは平均含水率の高い程水分傾斜が急激であるから中心部含水率の相当高いためであろう。

この様に水分傾斜の有無によつて標準曲線が異なるので、使用に当つてはその何れを選ぶべきかは注意を要するが、一般にこの様な標準曲線から含水率を推定したい場合は乾燥進行中の水分傾斜のあるのが通常である。従つてこゝでは水分傾斜のある時の標準曲線を用いて含水率を推定する場合その精度について若干検討してみたい。

この標準曲線について含水率 1% の変動に対する電流値の変動を含水率毎に求めてみると Table 2 の如くである。

Table 2.

Moisture content %	Resistance M Ω	Current μ A	for the change of 1% moisture content	
			Change of resistance M Ω	Change of current μ A
100	0.06	100	0.001	1.7
80	0.09	66.7	0.002	1.6
60	0.13	46	0.005	1.7
50	0.20	30	0.013	1.8
40	0.60	10	0.120	1.7
30	4.0	1.5	0.8~1.0	0.3~0.37
20	50.0	0.12	14~20	0.034~0.04
10	500.0	0.012	100~120	0.002~0.0038

即ち含水率 40% 以上では含水率 1% の変化に相応する電流値は 1.6~1.8 μ A であるため、電圧 6V を用いると印加後 1~2 分間経過すれば指針は略停止するが、含水率の多い程精度は粗になるので適当な計器を用いれば含水率 1~2% の精度を期待することが出来る。亦これ以下の含水率 15% 程度迄に対しては相応する精度の計器を用いれば同じ程度の精度で含水率を推定することが出来る。故に何れにしてもこの曲線によつて大体 1% 程度の誤差にて含水率の測定が可能であると思われる。

今こゝに実測例を示して説明の補足とする。即ち水分傾斜のある供試材の 3~4 ケ所を上述の如く電流値を測定し、標準曲線により含水率を推定した後、厚さの半分を 3~4 等分し絶乾法にて含水率の分布を実測してこれらと比較した。その結果は Fig. 25 に一括した如く何れも略 1% 以内の精度で両者は一致している。従つてこの方法によつて実験的に支障なき程度の精度で水分分布を推定することが出来るので、乾燥経過中の水分分布の変化等の推定も可能となり、将来この方面の研究に応用したいと思つている。

Ⅳ 摘 要

木材内部の水分分布を針状電極による電気抵抗によつて推定する方法を検討した。先ず予備的に電流の時間的变化、温度、含水率等による影響の基本的事項を明らかにして、電流測定の際の指針を求めた。この結果に基づいて水分分布の均等な場合と水分傾斜のある場合とについて含水率と抵抗との関係を求め、夫々平均値的曲線から標準曲線を仮定したが、この両者は含水率33%以上において異なつたので、水分分布の推定には後者の含水率—抵抗の標準曲線を用いることとした。

板の厚さ方向に3~4ヶ所針状電極を挿入して抵抗を測定し、この標準曲線により水分分布を推定した結果と実際に切断して測定した結果とを比較検討して、含水率1%程度の誤差で水分分布を推測し得ることを明らかにした。

文 献

- (1) 比留間重次郎：林業試験報告；第10号，1915.
- (2) 沼倉秀穂：誘電体論 オーム社 1947.
- (3) Hasselblatt, M.: Z. anorg. allgem. chem. 154, 1926.
- (4) Nusser, E.: Holz als Roh- und Werkstoff Heft 11, 1938.
- (5) Stamm A. J.: Ind. Eng. Chem. Vol. 19, No. 9, 1927.
- (6) Stamm A. J.: Ind. Eng. Chem. anal. Ed. Vol. 1, No. 1, 1929.
- (7) Stamm A. J.: Ind. Eng. Chem. Vol. 22, No. 3, 1930.

Résumé

The study of wood drying will be able to made a great development, if the moisture distribution in wood can be computed without cutting board. For this purpose, it seems to be most right to compute the moisture distribution in wood by means of electric resistance measured by needle electrodes. When the directing currents are send to a dielectric substance as wood, various special phenomena, such as relations between the electromotive force and the change of currents at a time to another, and the effects of temperature on the currents, would be appeared. Therefore, we tried to conducted the preliminary experiments on the fundamental items as described above, and ascertained the possibility for the computation of moisture distribution in wood by means of needle electrodes. These summary are as follows.

A Rate of directing current change.

(1) Effect of electromotive force on the rate of current change.

The results experimented on the change of directing current against various voltage, whose experiments were conducted two boards, the one moisture content 21.4% inner temperature 38.5°C and the another 41.5% 50°C respectively, were shown in Fig. 3. The higher the electromotive force, the greater the decreasing gradient of current are.

(2) Effect of moisture contents.

As regards the rate of currents change measured on board of moisture content 100% and on that of 22%, as shown in Fig. 4, the more the moisture content, the greater the current change are. But the current change can be hardly found at low voltage below 10V regardless with moisture contents.

(3) Effect of temperature.

The effects of temperature on current change at a low voltage (4V) which has no effect on the change of currents, were shown in Fig. 5. It shows that the higher the temperature, the greater the current change are.

(4) Effect of electrode distance.

By the results obtained on the board of high moisture content (85%), as shown in Fig. 6, all the decreasing rate of current change show the same gradient, regardless of the distance between electrodes, at the same intensity of electric field, but the values of conduction current decrease, shown in Fig. 7, as the electrodes-distance close each other.

This may be appeared to be due to the expand of electric force line, because the electric force line can not fully expand when two electrodes close in excess each other.

These above results would be due to the so-called polarization, which is caused by the back electromotive force formed around the electrode, because the water in wood, that is sap, contains an electrolyte.

This is evident by the fact that the instant values of discharged current, which are measured after the electrodes are disconnected from battery when the currents remained only conduction currents, and shorted through galvanometer, are the same values in all cases, as shown in Fig. 9, and this shows that the same amount of electric charges are collected around all the electrodes.

From the results obtained on rate of current change as mentioned above, it is possible to said that the computation of moisture content in wood would be effectively made by using of the values of current at 1—2 minutes after the circuit is closed at the electromotive force below 10 V in practice.

B Expand of current.

The extent how current expand in wood is measured when two needle electrodes are put into the opposite side of board. As the results obtained are shown in Fig 12, 13, the values of current are constant over a certain area of cross section of board, but go down linearly with a decrease in area of board below this.

The limit of size at which the current decreases is about 10 cm at a great amount of moisture content, 5 cm at moisture content air-dried in width (direction of fibre length), and 2—3 cm, 1 cm in thickness (radial) respectively. Moreover, the value of conduction current measured by this method are agreed with that of plain electrode, those area is the same as cross section of board, measured by Hiruma, verly closely as shown in Table 1.

C Effect of electromotive force and temperature on conduction current.

The relationship between conduction current and electromotive force, which are measured at first on so low volt as 4—6V, and after raising to high volt gradually, are not linear, as shown Fig. 14~16, although its tendency are different more or less according to a moisture content. It is thought that this is baised on special reasons. But, the linear relationships through the origin are found, as shown in Fig. 17, 18, in all cases between conduction current and electromotive force, which are measured, at first, on high volt and then on

gradually decreased volt on an air-dried board. And regarding with the effects of temperature, the exponential relationships are found between the conduction current measured on the same volt and the temperature as shown in Fig. 19, 20. Therefore, the measurement will must be made specially with care.

Moreover, the relations between electric resistance by means of needle electrode and moisture content, on which the experiments were conducted on the basis of preliminary results described above, were obtained on boards of equal moisture distribution and on that of having moisture gradient. And a moisture distribution computed by using of this relationship were compared with that measured actually by cutting, and we examined on the practicability of this computation method. The summary are as follows.

(1) In case of having no moisture gradient.

The relationships between electrical resistance and moisture content at an equal temperature dispersed roughly as shown in Fig. 22, but all of them have the same tendency. That is, it is shown that the relationships between resistance and moisture content are all the same, although the absolute values of resistance are different by specimens. The average curve among these curves are shown by a big broken line and regarded as the standard line.

(2) In case of having moisture gradient.

The relationships between the electrical resistance, which obtained from the current value measured at 1—2 minutes after an electromotive force acted on the board of having moisture gradient on the process of drying, and the moisture content are shown in Fig. 23. As mentioned above the standard line are determined and shown by a big broken line.

By comparing this curve with that of having no moisture gradient, the both curves have the same shape below 33%, but the resistances at a certain moisture content are smaller at the former than the latter above 33%. Therefore, in case of having a moisture gradient we must apply this standard line. The change of electric current for the change of moisture content 1% are obtained at the each moisture content by means of this curve as shown in Table 2. We will be able to compute the moisture content with an accuracy of 1% by using of an adequate meter for each case.

The moisture distribution computed by such a method as mentioned above agreed with the actual value, as shown in Fig. 25, with accuracy below 1% closely. Therefore, we thought that the moisture distribution in wood could be computed by this method very adequately.