

単板の乾燥特性に関する研究(第1報)

単板の乾燥経過および乾燥速度について

筒 本 卓 造⁽¹⁾

ま え が き

単板の乾燥は切削、接着などとともに、合板製造における重要な工程の一つであり、合板の生産合理化や品質の向上に乾燥技術のはたす役割は大きい。

単板乾燥の目的は、生単板中に多量にふくまれている水分をとりさり、接着の工程、あるいは製品の品質に対して適正な含水率状態にすることであって、このような状態にできるだけ早く、損傷をすくなくすることが要求される。そのための乾燥方式として、現在最も多く採用されているのは、高温空気の循環する乾燥機内へ単板を連続的に送りこんで乾燥する方式、いわゆる熱風循環式乾燥機である。

この研究は、このような熱風による乾燥方式を対象として、単板乾燥における特性的な事項を究明するとともに、乾燥機の設計、操作にあたって必要な基礎資料をうるために行なったもので、本報は単板の乾燥経過および単板の乾燥速度について、実験的に検討している。

この研究を行なうにあたり、終始ご指導をいただいた木材部加工科長寺沢 真氏に謝意を表するとともに、実験にあたりご協力くださった乾燥研究室佐藤庄一氏に感謝する。

I 単板の乾燥経過

木材、とくにひき材の乾燥については従来から多くの問題がとりあげられ、乾燥の機構もほぼ明らかにされてきている。

単板はこれらひき材の形状が非常にうすく、広い面積をもった場合と考えることができ、本質的にはひき材の乾燥とことなるところはない。しかし、実際の乾燥方法では単板の場合特異な形状のために、次のような著しい相違がおこる。すなわち、

1) 板厚がうすいために急速な乾燥によっても欠点の発生がすくなく、乾燥時間の短縮を重視して100℃以上の高温で乾燥するのが普通である。

2) 広い面積のために平面的なひろがり方向での乾燥の不均一が生じやすく、十分な送風が必要である。したがって、乾燥していく状態もひき材の場合とおのずから異なるものと想像され、単板乾燥のいろいろな問題をとりあげるにあたって、乾燥の経過を正しく認識しておくことは極めて重要なことと思われる。

単板の乾燥経過について総合的に検討された資料はほとんどみあたらないが、KEYLWERTH は単板の温度経過の測定によって、その経過が次の3段階に大別できるとしている¹⁾。すなわち、1) 単板の温度が急

(1) 木材部加工科乾燥研究室長・農学博士

激に外周空気の湿球温度まで上昇する加熱期間、2) 単板が湿球温度を維持する期間、3) 単板温度がしだいに上昇し、乾球温度に近づいていく期間。

また、単板の含水率の経過に関連して、BETHEL らは乾燥の初期の段階において乾燥速度が一定の値を示す恒率乾燥期間があり、次の段階で乾燥速度が次式のような関係をもって減少し、材料によってはこの減少期間がさらに2つの段階にわかれることを指摘している。²⁾

$$\frac{du}{dt} = -cu^d \dots\dots\dots(1)$$

したがって、 $u = [ua^{1-d} - (1-d) ct] \frac{1}{1-d} \dots\dots\dots(2)$

ただし、 $\frac{du}{dt}$ 乾燥速度、 u t 時間後の含水率、 ua 初期含水率、 c, d 乾燥条件、単板条件によってきまる常数

一方、KEYLWERTH は乾燥速度の経過について、乾燥の全過程を通じて(1)式が適用できるとし³⁾、FLEISCHER は同様に全過程の乾燥速度を示す式として次式を提唱している⁴⁾。

$$\frac{du}{dt} = R_0 - st \dots\dots\dots(3)$$

したがって $u = ua - R_0 t + \frac{s}{2} t^2 \dots\dots\dots(4)$

ただし、 $\frac{du}{dt}$ 乾燥速度、 R_0 乾燥初期の乾燥速度、 s 乾燥条件、単板条件によってきまる常数、 u t 時間後の含水率、 ua 初期含水率

このような既往の報告は単板の乾燥経過についてそれぞれ異なった結果を示し、まだ統一した見解はえられておらない。また、これらの含水率経過に関する試験はいずれも比較的小さい試料を対象としており、単板の大きさに対する考慮が全然はらわれていないが、単板においては、ひき材の厚さ方向の水分傾斜と同様な意味で、大きさに関連した位置的な乾燥の不均一が乾燥経過を支配する重要な因子と考えられる。したがって、ここでは単板乾燥における標準的な乾燥条件を想定して、その一定条件下での単板温度、含水率、収縮率の経過を求め、これら相互の関係をいままでの結果と比較するとともに、上述の平面的なひろがりの問題に重点をおいて単板の乾燥経過を検討してみる。

1. 実験方法

供試単板は Table 1 に示すような北海道産マカンバ材 (*Betula Maximowicziana* REGEL) をロータリーカットした心材単板で、厚さ 2.0 mm、大きさ 20×20 cm とした。単板の大きさはここでの実験の目的からできるだけ大きいものがのぞましいが、実験開始時の装置開放による温度低下を防ぐために、大きな熱容量をもった装置の一部を使用する方法をとったので、測定部分の大きさに制約され、同時にできるだけ材質のそろった単板をうることも考慮してこのようにきめた。

Table 1. 供試材の形状と材質 (マカンバ)
Related properties of test bolt (birch).

原木の形状 (末口) Size of bolt (Top end)			年輪幅 Width of annual rings (mm)	全乾比重 Specific gravity, oven-dry	全乾収縮率 Shrinkage, green to oven dry	
長 Max. diameter (cm)	径 Min. diameter (cm)	辺材幅 Thickness of sapwood (cm)			接線方向 Tangential (%)	半径方向 Radial (%)
36.6	34.9	4.6 (3.8~5.4)	2.3 (1.9~2.6)	0.69 (0.66~0.72)	8.6 (8.5~8.8)	6.7 (6.2~7.1)

実験装置は Fig. 1 のように、一方にシロコファンを取りつけた立方体乾燥装置の吸込側風路を3段にくぎり、中段を測定室としたものである。温度調節は電気ヒーターの容量の調節と温度調節リレーによって行ない、風速はファンの回転数と補助的に配気板の組合せをかえて調節する。また、湿度は必要に応じファンの吸込側にある増湿用パイプから生蒸気をふかして調節しうる構造である。

しかし、この実験においては上述のように乾燥条件は一定ときめており、温度を120°C、風速を2.1~2.3 m/sec とし、湿度は外気を増湿しないでそのまま加熱した状態である。なお、このときの絶対湿度は約0.02 kg/kg dry air、湿球温度約45°Cであった。

乾燥の方法は単板をあらかじめジュラルミン製の金枠にいれ、乾燥機のなかで単板がおかれる状態と同様、風向と単板が平行になるようにつりさげる。このとき繊維方向は風向と直角で、木口部分は上下の枠により約5 mm ずつ被覆されている (Fig. 1, 2)。

乾燥中の重量減少経過は Fig. 2 に示すよう

に、測定室の上部においた上皿天秤を用いて一定きざみの重量ごとに時間をよみとって求め、収縮の経過

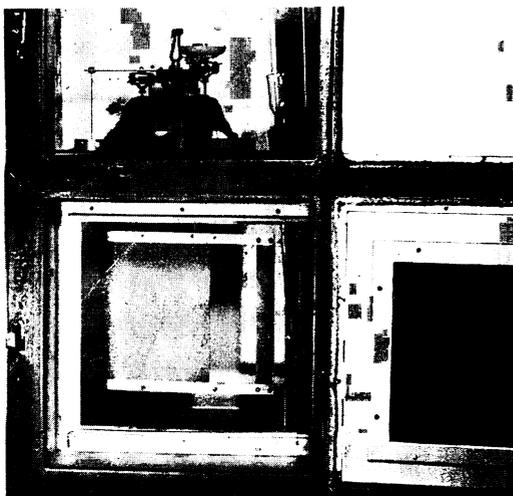


Fig. 2 実験装置の測定部分
Test compartment of experimental dryer.

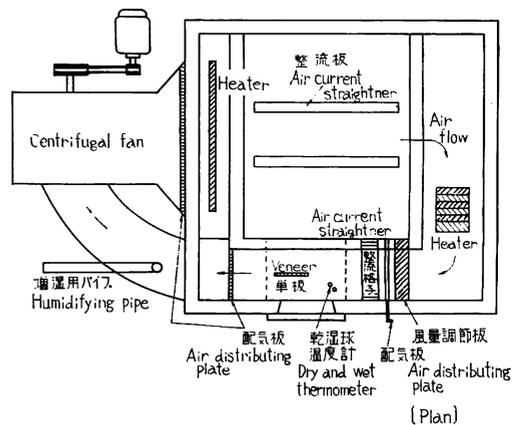
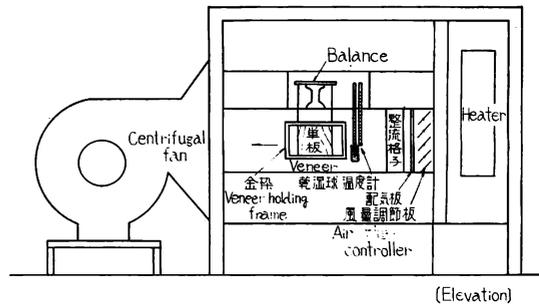


Fig. 1 実験装置
Schematic diagram of experimental dryer.

は単板側面にスケールをおき一定時間ごとにカセットメーターで測定した。

また、単板温度の測定は厚さ1.0 mm のマカンバ単板を含水率約20%まで天然乾燥し、熱電対（直径0.1 mm）を2枚の単板の中央部にはさんで平行接着したのち、ふたたび吸水させたものを2.0 mm 単板とみなし、中心温度の上昇経過を電子管式自記録計により連続記録した。このさい同一試料の含水率減少経過を別途測定し、含水率と温度との関係を求めた。

次に、単板内の位置的な乾燥経過の差異をしらべるために、いままでのべたのと全く同様な方法で乾燥している単板を一定時間ごと

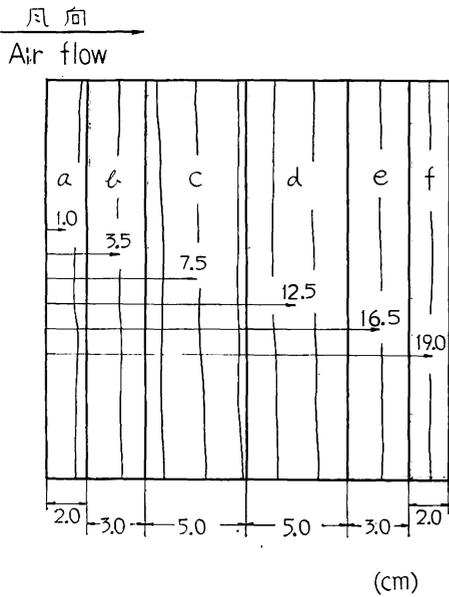


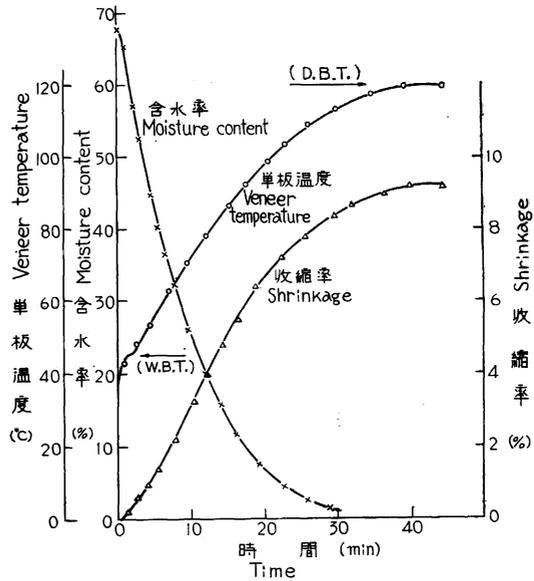
Fig.3 単板の切り方
Method of veneer cutting for the determination of moisture content drop.

にとりだし、Fig.3のように送風方向に対して一定幅に切断して、それぞれの切片の含水率を求め、これをくりかえして経過曲線を推定した。ここでは各切片の含水率をそれぞれその切片の中央の位置の含水率とみなしている。

2. 実験結果と考察

上述の条件下で、温度、含水率および収縮率を連続測定した結果をFig.4に、また温度、乾燥速度および収縮率の含水率に対する経過をFig.5に示す。このなかで含水率と収縮率は単板全体の平均的な値であり、温度は単板の中央部中心の値である。したがって、ここでの温度経過は単板表面のそれではないが、FLEISCHERの報告によれば、単板厚さが1~3mm程度の場合厚さ方向の温度差は比較的小さいことが示されており、両者は類似した傾向をとるものと考えられる⁹⁾。

最初に単板温度の経過についてみると、乾燥初期に急激に上昇したのち湿球温度付近でわず



Moisture content and shrinkage figures represent average value, Veneer temperature was measured in the center of veneer.

Fig.4 単板の乾燥経過(a)

Drying progress of veneer (temperature, moisture content and shrinkage of veneer during drying)(a).

Specimen and drying condition: 2 mm thick birch rotary veneer, size 20 × 20 cm, dry bulb temperature 120°C, wet bulb temperature 45°C, air velocity 2.2 m/sec.

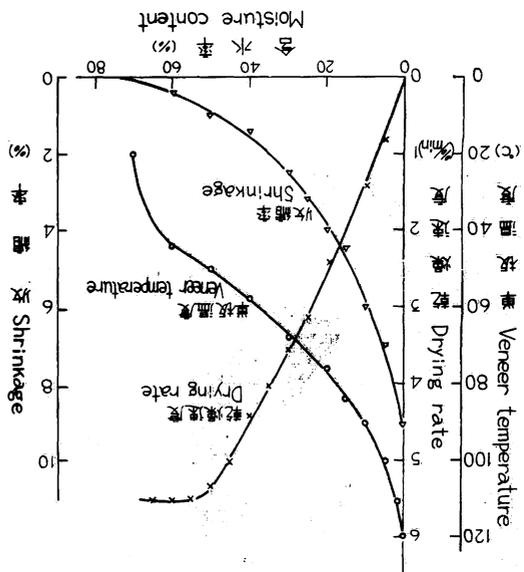


Fig.5 単板の乾燥経過 (b)

Drying progresses of veneer (b).

Specimen and drying condition is same as shown in Fig.4.

かに彎曲し、そのまま上昇してしだいに乾球温度に近づいている。一方、含水率の経過は乾燥初期にほぼ一定の速さで乾燥したのちしだいに乾燥がおそくなり、そのときの乾燥速度と含水率との関係は最初の高含水率域で一定の値を示し、50%前後から直線に近い形で減少し、最後に凸形の曲線にかわって乾燥速度が減少している。また、収縮率の経過は乾燥の開始とほとんど同時に収縮がおり、含水率の低下ともななって漸次増大している。

このような温度、含水率、収縮率の相互の関係は従来の乾燥経過に関する考え方からすれば明らかに矛盾する。すなわち、乾燥の初期において恒率乾燥期間が存在するならば、その期間中、単板温度は湿球温度を持続し、収縮もおこらないはずである。しかし上述の結果で、単板温度が一定値を示す期間はみとめられず、乾燥の初期においてすでに収縮を始めている。この両者からは単板が湿球温度に達するのと前後して直ちに減率乾燥にはいると考えるべきであろう。また、含水率の経過では乾燥初期、乾燥速度がほぼ一定の時期がみられ、現象的に恒率乾燥を示している。そして、ここでの乾燥速度と含水率との関係は BETHEL らのえた結果と近似し、乾燥速度が全過程を通じて連続的に減少するという KEYLWERTH や FLEISCHER の見解と著しく異なっている。

以上のような温度、含水率、収縮率経過の相互の矛盾、また従来の研究結果との相違は頭初のべたように、平面的な位置による乾燥経過の差異によるものではないかと考えられるので、乾燥中単板を切断して、送風方向での単板各部の含水率減少経過を求めた結果 Fig. 6 がえられた。

ここではあらかじめ同種の試料の含水率減少を連続測定してその経過を求め、切断した

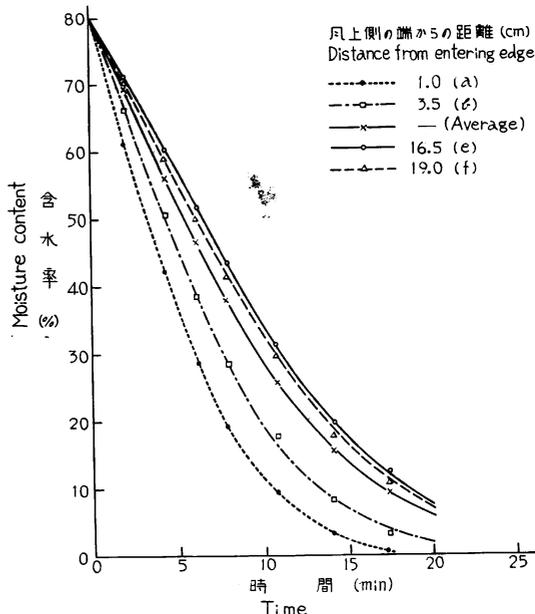


Fig. 6 単板各位置の含水率減少曲線
Moisture content drop at different points from entering veneer edge.

Specimen and drying condition: 2.0 mm thick birch veneer, size 20×20cm, dry bulb temperature 120°C, wet bulb temperature 45°C, air velocity 2.2m/sec.

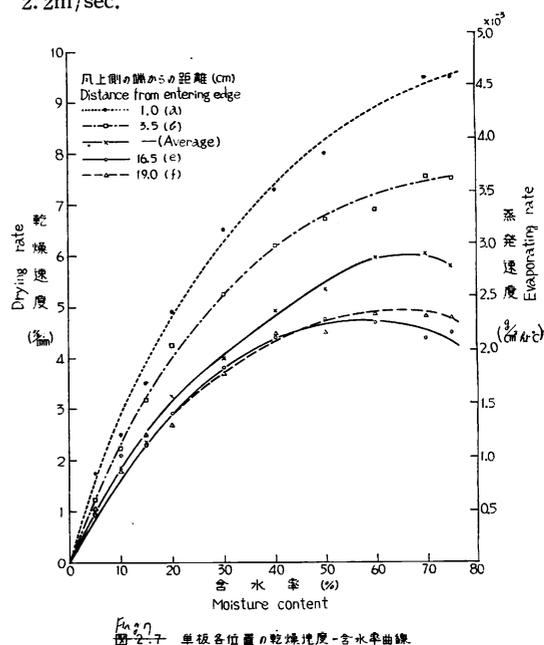


Fig. 7 単板各位置の乾燥速度-含水率曲線

Drying rate curves (drying rate vs moisture content) at different points from entering veneer edge.

Specimen and drying condition is same as shown in Fig. 6.

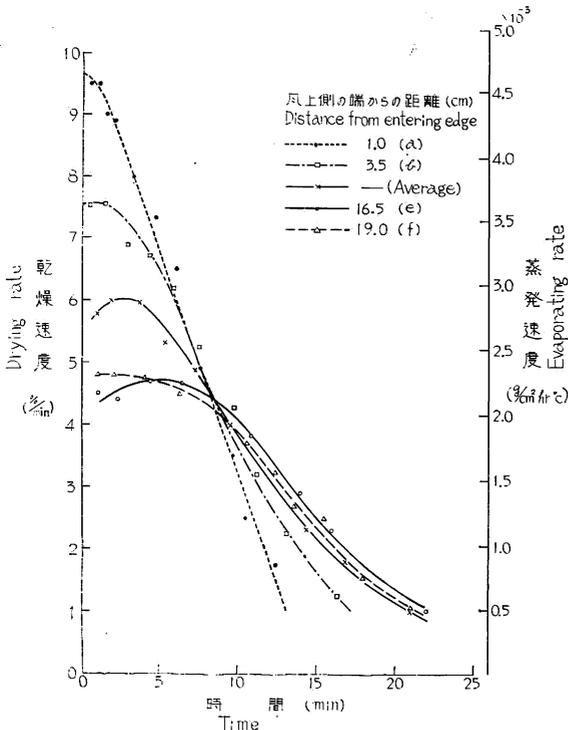


Fig. 8 単板各位置の乾燥速度-時間曲線
Drying rate curves (drying rate vs drying time)
at different points from entering veneer edge.
Specimen and drying condition is same as shown
in Fig. 6.

め境界層内で表面から一定距離へだたった位置では、風下側に行くにつれて温度が下り湿度も高くなつて、蒸発量は送風方向での距離と一定の関係をもって減少する⁶⁾。

このことは木材の恒率乾燥についてはすでにたしかめられており^{7) 8)}、単板の乾燥の場合も当然同様な現象がおこるはずである。したがって、Fig. 6, 7, 8 でみられる風下側の乾燥のおくれは上述のような境界層における空気条件の差によるものといえ、その過程は次のように考えられる。

前端部(a)では室内外周条件がそのまま単板に与えられるため空気条件は常に一定しており、図に示すようなこの単板本来の乾燥経過をたどる。前端に隣接する部分(b)では乾燥初期に(a)部での蒸発量に相応した量だけ温度がさがり湿度のたかくなった空気条件で乾燥されるので、(a)部よりも蒸発量が少ない。つづいて(a)部での蒸発量が減少し始めると、それに応じて(b)部での温湿度は(a)部のそれに近づいていくが、この部分の含水率もまた低下して乾燥速度はしだいに減少していく。このような現象が送風方向において、次々におこって、同一含水率に対しては風下側が常に小さい乾燥速度を示しながら単板全体はしだいに乾燥していくものと思われる。このさい単板自体に材質的な差がある場合は、そのことによる乾燥むらと同時に起こってくることは当然であろう。

測定結果のなかで、後端部(f)が風上側に隣接する部分(e)より早く乾燥しているが、これはいわゆる edge effect と考えられ、前端部もこの影響をうけているはずである。

ここでえられた前端部の経過もこれ自体ある面積をもち、edge effect をうけているので、与えられた

試料の各時期の平均含水率をこの経過にあわせてそれぞれプロットしている。また、中央に近い部分の経過は、単板全体の平均的な経過とあまり変わらないので記載しておらない。Fig. 7, 8 はこれらの乾燥速度の含水率、あるいは時間に対する経過である。

以上の結果では、単板の風上側前端部(a)は著しく急激に乾燥し、後端部(f)をのぞいて風下側ほど乾燥がおくれ、送風方向の各位置で乾燥経過が非常に異なっている。

このような送風方向における乾燥の不均一は従来、単板の乾燥についてほとんど考えられていなかった点であるが、関連した現象で水面にそって風がながれるときの蒸発について、次のようなことが知られている。すなわち、液面にごく近いところに境界層が形成され、その空気は蒸発のために熱を消費し、蒸発水分のために蒸気密度がたかくなる。このため

外周条件に対する正確な経過を示すものとはいえないが、Fig. 7, 8 のように乾燥開始後非常に短時間で乾燥速度が最大となり、そのまま減少経過をたどることは、単板が加熱される過程ですでに部分的に表面含水率が繊維飽和点以下になり、ただちに減率乾燥に入るためと考えられ、高温での単板の乾燥について基本的にいうことであろう。そしてこの部分の乾燥速度と含水率および時間との関係は、乾燥初期をのぞいて前述の KEYLWERTH, あるいは FLEISCHER の実験結果と比較的よく一致している。

したがって、単板全体としての乾燥経過 Fig. 4, 5 でみられた乾燥初期の乾燥速度ほぼ一定の時期もあくまでみかけ上の恒率乾燥にすぎず（以下これを恒率的乾燥期間とよぶ）、この時期においてすでに温度が上昇し、収縮を始めることも当然の結果と考えられる。

以上のことから単板の乾燥経過について次のようにいうことができよう。

ある程度以上の面積をもった単板の乾燥経過はそれぞれの位置で異なる多数の経過の集合したもので、前端部の乾燥経過によって性格づけられ、単板のひろがりによってそれがかえられていくものである。

前端部の乾燥経過は高温での急激乾燥のために、ほとんど全過程が減率乾燥であって、乾燥速度の経過は近似的に(1)式あるいは(3)式によってあらわすことができる。しかし、実際に乾燥されるある大きさの単板の全体的な経過は、単板の形状によって異なるはずで、含水率の経過も特定なものとして規定し、単一な式で示すことは困難といわなくてはならない。ただ、単板内の含水率分布を追求することにより、一定条件における含水率の減少経過を示すことはある程度可能と考えられるが、これについては別途検討していく予定である。

II 単板の乾燥速度

最初にのべたように、単板の乾燥において最も重視されることの一つはできるだけ早く、一定時間内にできるだけ多くの単板を乾燥することである。このような単板の乾燥する速さは温度、風速、単板の種類など、多くの因子に支配されるが、乾燥機の性能を高め能率的に乾燥するためにはこれら因子の影響を十分把握し、適切な乾燥条件の選択が必要であろう。

いままで単板の乾燥する速さと外周条件、あるいは単板条件との関係を検討したのものには前章で示した KEYLWERTH, FLEISCHER などの報告があるが³⁾⁴⁾、これらはとりあげた因子が限定され、とくに単板の大きさに対する考慮がはらわれていないために、必ずしも十分な資料といえない。

したがって、ここではできるだけ多くの因子についてこれらの乾燥速度におよぼす影響を検討するとともに、それぞれ乾燥時間との関係について実験式を求め、乾燥機の大きさをきめたり、乾燥機を操作する場合の実務的な指針をえようとした。

1. 実験方法

供試単板は樹種別の乾燥時間を求める実験をのぞいてすべてマカンパ (*Betula maximowicziana* REGEL) 心材単板とした。これらは前章と同種の北海道産マカンパ材をロータリーカットしたものである (Table 1)。また外周条件 (温度、風速) の影響についての実験では、乾燥初期の乾燥速度を恒率乾燥におけるそれと比較するため Soft board を一部使用している。これは内部水分の移動が容易で恒率乾燥期間の長い材料としてとくにえらんだものである。

実験装置はすでにのべた Fig. 1 を用いたが実験のすすめ方と実験条件は次のとおりである。

この実験では、ある因子の影響を求めようとするときは他の条件をすべて一定とし、該当する条件のみ

をかえていく方法を取り、基準とした条件は、乾燥温度 120°C、湿度 外気をそのまま加熱した状態（絶対湿度約 0.02 kg/kg dry air）、風速 2.1~2.3 m/sec、単板厚さ 1.0 mm、2.0 mm、大きさ 20×20 cm で、前章の乾燥経過の実験と厚さをのぞいて全く同様である。そして各因子の影響を検討するための外周条件および単板条件はそれぞれ次のようにした。

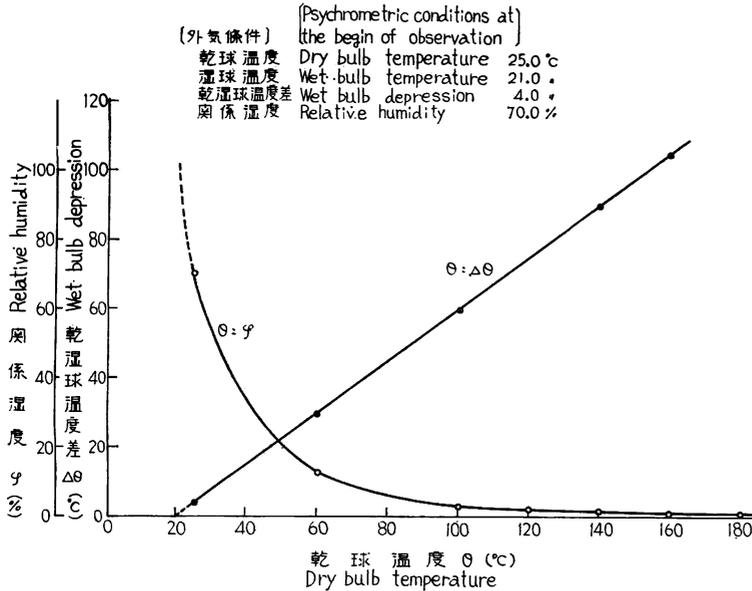


Fig. 9 外気を加熱したときの関係湿度および乾湿球温度差
Change of psychrometric conditions in the empty experimental dryer while increasing the dry bulb temperature.

これを加熱したときの乾湿球温度差および関係湿度の変化は Fig. 9 のとおりである。

なお、このような湿度条件は 100°C 以下の場合、乾球温度と関係湿度で示すのが普通であるが、単板乾燥機内のように 100°C 以上の高温の場合は、その温度における飽和蒸気圧が非常に大きくなり、関係湿度は極端に小さくなって適当な表示法といえない。しかも関係湿度は一般に乾湿球温度計の読みから計算されるものであって、湿度条件は乾球温度と湿球温度あるいは乾湿球温度差で示す方がより実際的と考えられるので、この実験では主としてこれによって示している。

b) 湿度 乾球温度は 120°C 一定とし、スチーミングによって次の 3 段階（基準条件をふくむ）に増湿する。すなわち、乾湿球温度差 75, 57, 45°C で、このときの絶対湿度はそれぞれ約 0.02, 0.14, 0.35 kg/kg dry air である。

c) 風速 1.0~5.0 m/sec の範囲で 4~5 段階にかえる。すなわち、1.0 mm 単板については、1.2, 1.7, 2.4, 3.5, 4.5 m/sec、また 2.0 mm 単板については 1.5, 2.2, 3.4, 4.3 m/sec である。1.0 mm と 2.0 mm の単板で数値が異なっているのは、同一ブリーアの組合せにもかかわらずファンの回転数が僅かずつちがっているためである。

B) 単板条件の影響をしらべたときの条件

a) 厚さ 0.5~3.0 mm の範囲で 4~5 段階を目標としたが、実際の厚さは 0.48, 0.96, 1.49, 1.85, 3.05 mm であった。

A) 外周空気条件の影響をしらべたときの条件

a) 温度 乾球温度を 60°C から 180°C の範囲で 20°C きざみにかえる。ここでは外気をそのまま加熱しているため、絶対湿度はほぼ一定であり、関係湿度あるいは乾湿球温度差は乾球温度によって異なる。実験時の外気湿度条件の一例を示すと、乾球温度 25°C、湿球温度 21.0°C、関係湿度 70% であり、こ

b) 大きさ 風向と直角方向（繊維平行方向）の長さは20 cm一定とし、送風方向の長さを5, 10, 20, 30 cmとする。

すでにのべたように、単板が大きくなれば乾燥中の含水率むらが増加し、当然乾燥の速さに影響するものと考えられる。この含水率むらは単板の木理、組織の不均一や、edge effect など、多くの不確定な因子が同時に原因しているが、単板の乾燥では送風方向における一定の法則性をもったものが最も重要と思われるので、とくにこれに主眼をおいた。

c) 初期含水率 ここで供試した単板の大部分は60~80%であったので、このほか40~50%, 25~30%を目標に調整した。

d) 樹種 次の7樹種について試験を行なう。

国内産広葉樹

マカンバ (*Betula Maximowicziana* REGEL)

ブナ (*Fagus crenata* BLUME)

シナ (*Tilia japonica* SIMONKAI)

南方産広葉樹（ラワン類）

タンギール (*Shorea polysperma* MERRILL)

アルモン (*Shorea almon* FOXWORTHY)

マヤビス (*Shorea squamata* DYER)

バクチカン (*Parashorea plicata* BRANDIS)

上記のような各条件での実験結果は、おもに乾燥時間を比較することによって各因子の影響を求め、このときの含水率範囲は初期含水率60%, 仕上り含水率10%を標準とする。そしてこの範囲が高含水率域、あるいは低含水率域につれた場合としてそれぞれ70~15%, 50~5%を選んだ。

2. 実験結果と考察

2-1. 外周空気条件の影響

a) 温度の影響

1.0 mm 単板を前述の条件で乾燥したときの含水率の減少経過を Fig. 10 に、各含水率に対する乾燥速度を Fig. 11に示す。2.0 mm 単板についても同様な結果がえられており、温度が乾燥速度を支配するいかに重要な因子であるかがわかる。ここでは外気をそのまま加熱しているため、温度の上昇によって乾湿球温度差がほぼ比例的に増大し (Fig. 9), 温度が一定で湿球温度をかえた場合、あるいは乾湿球温度差を一定

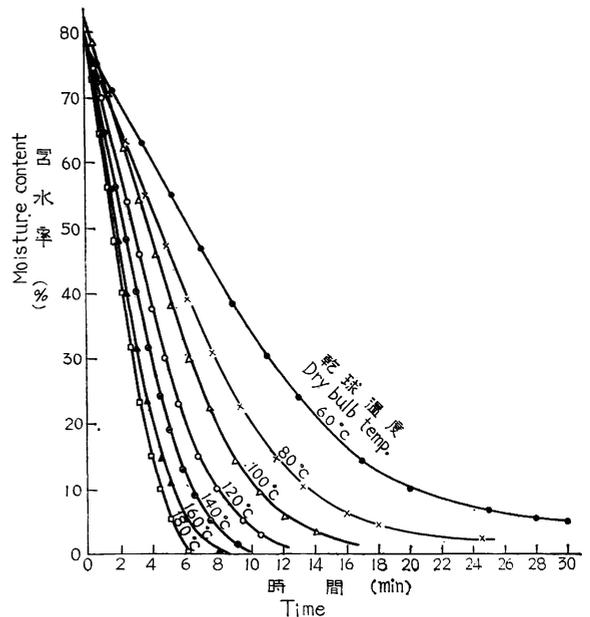


Fig. 10 各種温度における含水率減少経過
Moisture content drop at different temperatures.
Experiment conducted at constant absolute humidity and changing dry bulb temperature.
Specimen and drying condition: 1.0 mm thick birch veneer, 20×20 cm, air velocity 2.2 m/sec.

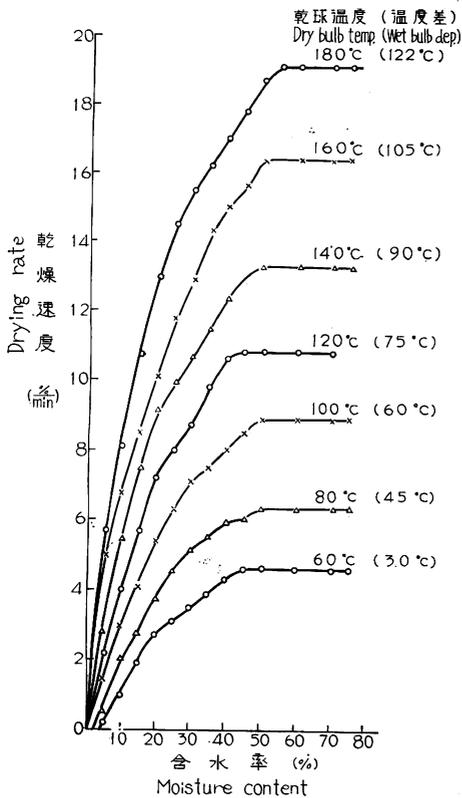


Fig. 11 各種温度における乾燥速度曲線
 Drying rate curves at different drying temperatures.
 Specimen and drying condition is same as shown in Fig. 10.

も、むしろ、乾湿球温度差によって支配されることを示しており、さらに単板と soft board の蒸発速度の差から単板の恒率的乾燥期間における乾湿球温度差の影響は純粋な恒率乾燥の場合よりかなり小さいといえる。このことは前章でのべたこの時期の乾燥経過から当然予測されることであろう。

次に、単板の含水率が次第に低下したときの温度の影響を Fig. 12 についてみると、温度差と乾燥速度との関係が凹形の曲線となり、温度差の増大する割合より乾燥速度の増加が大きくなっている。これは Fig. 12 における温度差の増大が乾球温度の上昇によるものであり、温度の上昇によって内部水分の移動が容易になるためと考えられ¹⁰⁾、乾球温度が一定で温度差が変化した場合の次項 Fig. 16、あるいは同様な条件でひき材について求められている結果¹¹⁾と著しく異なる。したがって乾球温度の上昇は温度差をまして表面蒸発を増大させるだけでなく、内部の水分移動を容易にし、乾燥速度の増大に対して重要な意味をもつことが明らかで、とくに低含水率における乾燥速度は乾湿球温度差より、乾球温度により多く支配されるということが出来る。

単板の乾燥時間は以上のような各含水率における乾燥速度によってきまるが、最初に示した含水率減少曲線から各温度における乾燥時間を求めると Fig. 14 のようになる。

このように乾燥時間と温度との関係は両対数方眼紙においてほぼ直線的であり、次式によってあらわすことができる。

にして乾球温度をかえた場合とは異なる。

Fig. 12 は Fig. 11 から温度と乾燥速度との関係を各含水率について求めたもので、最初に単板が高含水率のときの温度と乾燥速度との関係を検討してみよう。

Fig. 11 の乾燥速度曲線において、乾燥初期に乾燥速度一定の時期がみられるが、この時期の乾燥速度は Fig. 12 において含水率 60% の線で示され、温度の上昇ともなつて略直線的に増加している。したがって、恒率乾燥における次式の蒸発係数(g/cm²hr°C)と同様に温度差 1°C あたりの蒸発速度が一定値として求められ、 2.7×10^{-3} g/cm²hr°C をえた (Fig. 13)。

$$\frac{dw}{A dt} = -k(\theta - \theta') \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $\frac{dw}{dt}$ 蒸発速度 (g/hr), A 表面積 (cm²), k 蒸発係数 (g/cm²hr°C), θ 乾球温度 (°C), θ' 湿球温度 (°C)

一方、純粋な恒率乾燥の例として、soft board を同条件で試験した結果も、Fig. 13 のように蒸発速度が乾湿球温度差と比例的な関係を示し、蒸発係数として 4.1×10^{-3} g/cm²hr°C が求められた。

以上の結果において、蒸発速度が乾球温度の上昇に付随して増加した乾湿球温度差に対して比例的関係にあることは、高含水率時の蒸発速度が乾球温度より

$$t = t_0 \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right)^{-n} \dots\dots\dots(6)$$

ただし, t, t_0 任意の温度 $\theta(^{\circ}\text{C})$ およ
び基準温度 $\theta_0(^{\circ}\text{C})$ における乾
燥時間 (min), n 単板の種
類, 乾燥する含水率範囲によ
ってきまる常数

この n を各条件について求めると
Table 2 がえられ, n の値は単板の厚さ
に対してはほとんど差がみられず, 含水率範
囲に対しては高含水率にずれるほど多少大
きくなる傾向がみられる。しかし, その差
は含水率50~5%の範囲をのぞいて比較的
小さく, 実際の乾燥工程での初期含水率は
普通60%ないしはそれ以上で, このような
含水率範囲が対象となることはすくないの
で, 実用上は n を一定値とみなし, 含水率
範囲60~10%について求めた値 1.50 を標
準値とみなすことができるものと思われ
る。したがって (6) 式は上記の基準条件に
おいては次式のようになる。

$$t = 1310 t_0 \theta^{-1.50} \dots\dots\dots(7)$$

b) 湿度の影響

乾燥機内では多量の水分が蒸発するので, 循環する空気の湿度 (絶対湿度) は外気より著しくたかく,
そこでの乾湿球温度差も外気を同温度に加熱したときの温度差より小さいのが普通である¹²⁾。このよう
な一定温度 (120 $^{\circ}\text{C}$) において乾湿球温度差 (湿度) が異なった場合の乾燥速度 - 含水率曲線を Fig. 15 に
示し, Fig. 15 から求めた各含水率における乾湿球温度差と乾燥速度との関係を Fig. 16 に示す。

Fig. 16 によれば, 単板含水率がたかいときは乾燥速度が乾湿球温度差とほぼ比例的に増加し, 両者の
関係は Fig. 12 とほぼ一致している。しかし, 低含水率の場合はFig. 12と全く異なった傾向を示し, 両者の

Table 2. 各種条件に対する n -値 (温度の影響)
n-values for various conditions
(effect of dry bulb temperature).

含水率 範囲 M. C. reduction	単板厚さ Thickness of veneer	
	1.0 mm	2.0 mm
70→15%	1.45	1.48
60→10%	1.49	1.52
50→5%	1.65	1.70

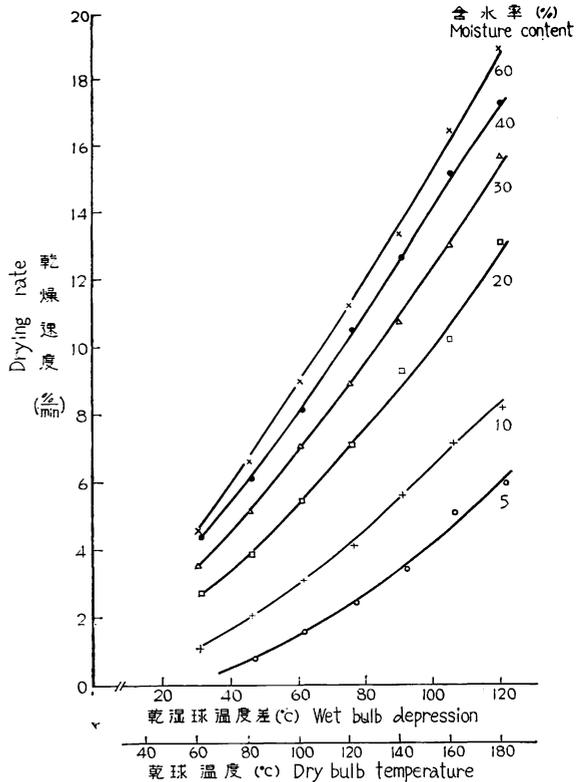


Fig. 12 各含水率に対する温度と乾燥速度との関係
Relationship between temperature and drying
rate in each moisture content level.
Specimen and drying condition is same
as shown in Fig. 10.

同一温度差の場合を比較すると, Fig. 16
の増湿したときの方が, Fig. 12 の外気
をそのまま加熱した条件より乾球温度が
たかいので乾燥速度は常に大きく, 温度
差による乾燥速度の差は低含水率になる
につれてしだいに小さくなる。

次に一定含水率範囲を乾燥するための
乾燥時間と乾湿球温度差 (乾球温度一
定) との関係を求めると Fig. 17 がえら

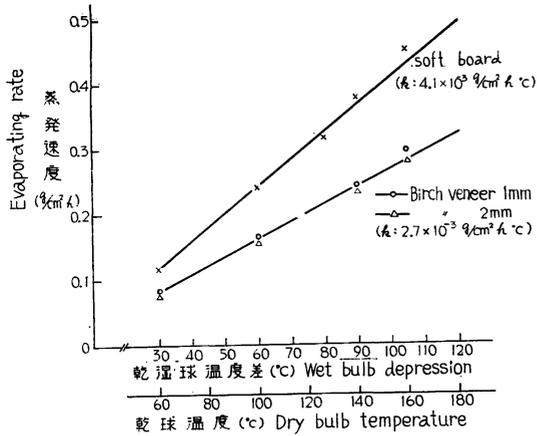


Fig. 13 温度と高含水率時の蒸発速度との関係
Relationship between temperature and evaporating rate in high moisture content stage (first stage of drying).
Specimen size 20×20 cm, air velocity 2.2 m/sec.

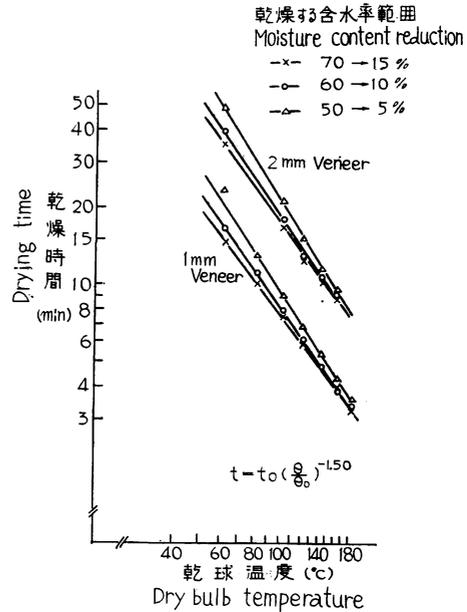


Fig. 14 温度と乾燥時間との関係
Relationship between temperature and drying time for different moisture content reductions.
Specimen and drying condition: birch veneer 20×20 cm, air velocity 2.2 m/sec.

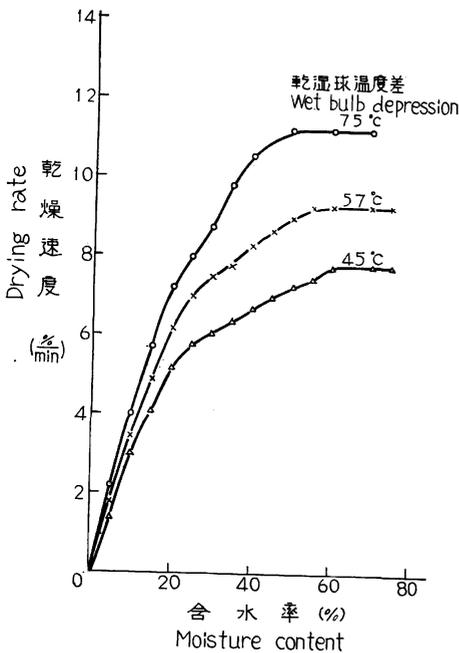


Fig. 15 各種乾湿球温度差(湿度)における乾燥速度曲線
Drying rate curves at different wet bulb depressions. Experiment conducted at constant dry bulb temperature and changing absolute humidity.
Specimen and drying condition: 1mm thick birch veneer 20×20 cm, dry bulb temperature 120°C, air velocity 2.2 m/sec.

れる。図中の破線は Fig. 14の結果を比較のために示したもので、交点は外気をそのまま 120°C に加熱した条件である。これらによれば、Fig. 16 と Fig. 12 の低含水率における乾燥速度の差から当然であろうが、温度差が同じであっても増湿した場合の乾燥時間の方が小さい。そして Fig. 16 から、乾湿球温度差(湿度)と乾燥時間の関係を示す実験式として次式がえられる。

$$t = t_0 \left(\frac{\Delta\theta'}{\Delta\theta_0} \right)^{-0.64} \dots\dots\dots(8)$$

ただし、 t , t_0 乾燥時間 (min), $\Delta\theta'$, $\Delta\theta_0$ 基準乾球温度における乾湿球温度差 (°C)

以上のような乾湿球温度差は、実際の場合単独に変化するものでなく、乾球温度に付随して変化する。したがって、乾球温度が基準温度と異なった場合には、そのときの乾湿球温度差を(8)式における $\Delta\theta'$ とすることは妥当でなく、一般的な条件に対しては、ある乾球温度における温度差を基準温度における温度差に補

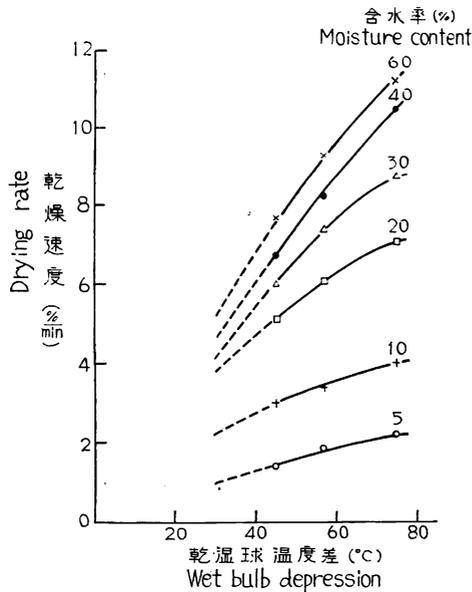


Fig. 16 各含水率に対する乾湿球温度差(湿度)と乾燥速度との関係

Relationship between wet bulb depression and drying rate in each moisture content level. Specimen and drying condition is same as shown in Fig. 15.

正しなければならない。

すでにのべたように、絶対湿度が一定の場合、乾球温度と温度差の間にはほぼ比例的関係があり、次式で示される (Fig. 9)。

$$\Delta\theta = a(\theta - b) \dots\dots\dots(9)$$

ただし、a, b は湿度条件によってきまる常数で、これらの値を湿度図表¹³⁾より各湿度条件について求めると Fig. 18 がえられる。

一方、生産工場において稼動している乾燥機について、排気孔の開閉による乾球温度、乾湿球温度差の変化を実測した結果によれば¹²⁾、機内の絶対湿度はほぼ 0.1~0.2 kg/kg dry air であった。このような湿度範囲に対する (9) 式の常数 a は 0.92~0.94 であり、近似的な計算にあたっては一応一定値 (0.93) とみなすことができる。したがって、ある乾球温度 (θ) における乾湿球温度差が測定されたとき、次のように b の値が定められ、

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= 0.93(\theta - b) \\ \therefore b &= \theta - \frac{\Delta\theta}{0.93} \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

これにより、上記の温度差 ($\Delta\theta$) は基準温度 (θ_0) における温度差 ($\Delta\theta'$) に補正することができる。

$$\Delta\theta' = \Delta\theta + 0.93(\theta_0 - \theta) \dots\dots\dots(11)$$

したがって、一般の乾燥機で対象となるような温度、湿度の変化が比較的小さい範囲では、(8) 式の乾湿球温度差と乾燥時間との関係を次式によって示しうるものと思われる。

$$t = t_0 \left[\frac{\Delta\theta + 0.93(\theta_0 - \theta)}{\Delta\theta_0} \right]^{-0.64} \dots\dots\dots(12)$$

また、上記の基準条件に対しては次のようになる。

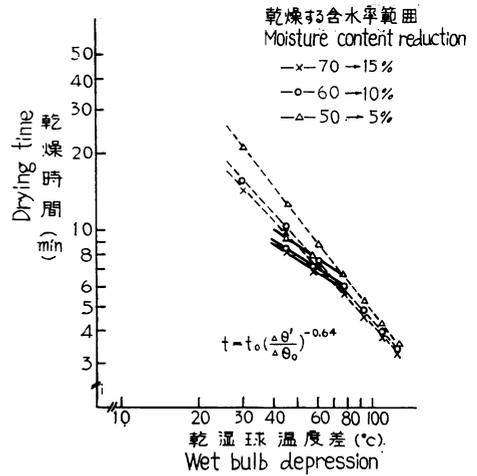


Fig. 17 乾湿球温度差(湿度)と乾燥時間との関係

Relationship between wet bulb depression and drying time for different moisture content reductions.

Specimen and drying condition is same as shown in Fig. 15.

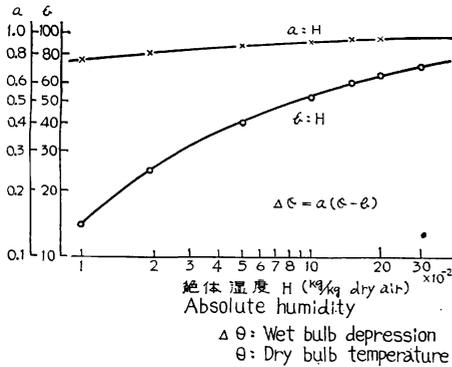


Fig. 18 各種湿度条件に対する絶対湿度と常数との関係

Relationship between absolute humidity and psychrometric constant a, b.

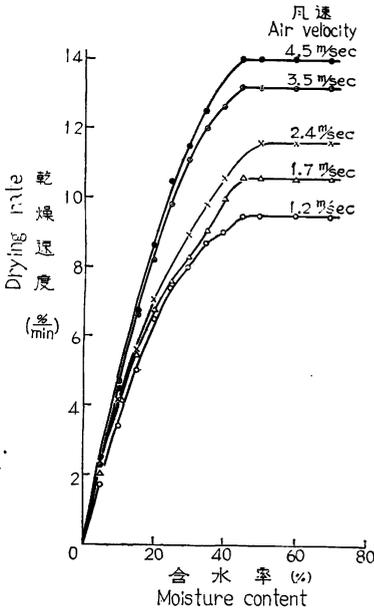


Fig. 19 各種風速における乾燥速度曲線
Drying rate curves at different air velocities.

Specimen and drying condition: 1.0 mm thick birch veneer, 20×20 cm, dry bulb temperature 120°C, wet bulb temperature 45°C.

も単板の特性があらわれている。

次に、乾燥末期までの全乾燥時間と風速との関係は Fig. 21 のようになり、温度の場合と同様、近似的に次式の関係とみなすことができる。

$$t = t_0 \left(\frac{v}{v_0} \right)^{-n} \dots \dots \dots (15)$$

ただし、 t, t_0 乾燥時間 (min), v, v_0 風速 (m/sec)

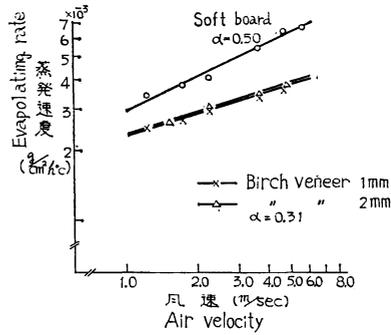


Fig. 20 風速と高含水率時の蒸発速度との関係

Relationship between air velocity and drying rate in high moisture content stage (first stage of drying).

Size of specimen 20×20 cm, dry bulb temperature 120°C, wet bulb temperature 45°C.

$$t = 15.9 t_0 [\Delta\theta + 0.93 (\theta_0 - \theta)]^{-0.64} \dots \dots \dots (13)$$

c) 風速の影響

Fig. 19 は前述のような各種の風速における乾燥速度-含水率曲線である。この図から明らかなように風速の影響は単板の含水率がたかいときほど大きい。この高含水率時の恒率乾燥期間における蒸発速度と風速との関係を求め、温度の影響の場合と同様 soft board の恒率乾燥についての結果と比較して Fig. 20 に示す。

恒率乾燥における蒸発速度 (w') と風速 (v) との間には、一般に次のような関係が知られている。なお、ここでの蒸発速度 ($g/cm^2 hr^\circ C$) は (5) 式における蒸発係数 k に相当する。

$$w' \propto v^\alpha \dots \dots \dots (14)$$

α の値について小倉らは、常温における風洞試験より 0.5 をえているが²⁾、Fig. 20 における soft board の結果はこれとよく一致しており、高温においても全く同様な関係であることを知る。しかし、単板では α の値が 0.31 であって風速の影響は上述の恒率乾燥の場合より小さく、ここで

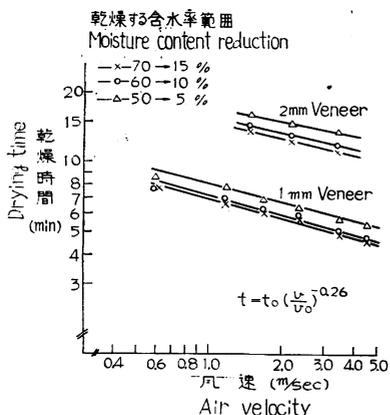


Fig. 21 風速と乾燥時間との関係
Relationship between air velocity and drying time for different moisture content reductions.
Specimen and drying condition: birch veneer 20×20 cm, dry bulb temperature 120°C, wet bulb temperature 45°C.

Table 3. 各種条件に対するn-値 (風速の影響)
n-values for various conditions (effect of air velocity).

単板厚さ Thickness of veneer	1.0 mm	2.0 mm
含水率 範囲 M. C. reduction		
70→15%	0.28	0.24
60→10%	0.28	0.24
50→5%	0.25	0.20

(5)式における指数の値は、Table 3のように単板の厚さがうすい方が、また乾燥する含水率範囲が高含水率域である方が大きい。概略的な乾燥時間の算定にはnを一定値とみなすことができ、その値としては含水率範囲60~10%についての平均値0.26が適当と考えられる。したがって上記の基準条件に対しては(5)式は次のようになる。

$$t = 1.23 t_0 v^{-0.26} \dots\dots\dots(16)$$

2-2. 単板条件の影響

a) 単板の厚さの影響

実験方法でのべた基準的な外周条件において、各種厚さの単板を乾燥したときの乾燥速度-含水率曲線をFig. 22に示す。

恒率乾燥のように厚さに関係なく一定蒸発量であれば、乾燥速度は厚さに逆比例するはずで、Fig. 22においても高含水率時はほぼ同様な関係がみられる。しかし、低含水率になると厚いものの乾燥速度は厚さの比以上に小さくなり、同一平均含水率に対する表面蒸発速度は厚いものほど小さいことを示している。したがって、厚さと乾燥時間との関係は比例的でなく、各厚さの含水率減少曲線からFig. 23がえられた。

このように一定条件で乾燥したときの厚さと乾燥時間の間に、次式のような放物線的な関係があることは、すでに小倉¹⁴⁾、KOLLMANN¹⁰⁾らも報告している。

$$t = t_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^n \dots\dots\dots(17)$$

ただし、t, t₀ 乾燥時間(min), d, d₀ 単板厚さ(mm)

Fig. 23において指数nは、乾燥する含水率範囲の低い組合せほど大きくなり、1.20~1.38が求められたが、含水率範囲60~10%のとき1.30であり、これを標準的な値とみなすことができる。したがって上記の条件については次式がえられる。

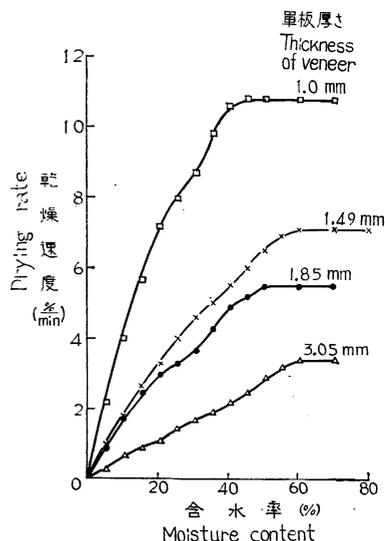


Fig. 22 各種単板厚さに対する乾燥速度曲線
Drying rate curves for different thickness of veneer.
Specimen and drying condition: birch veneer 20×20 cm, dry bulb temperature 120°C, wet bulb temperature 45°C, air velocity 2.2 m/sec.

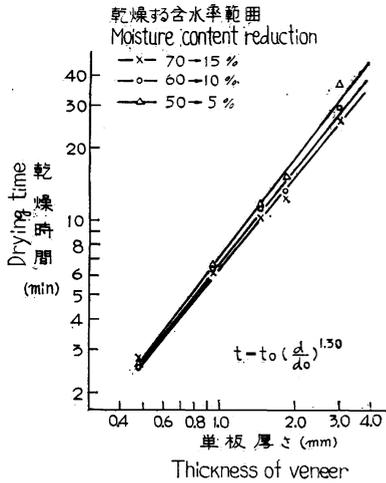


Fig. 23 単板厚さと乾燥時間との関係
Relationship between veneer thickness and drying time for different moisture content reductions.
Specimen and drying condition is same as shown in Fig. 22.

$$t = t_0 d^{1.50} \dots \dots \dots (18)$$

b) 大きさ (送風方向の長さ) の影響

送風方向の長さの異なる単板を一定空気条件において乾燥したときの乾燥速度 - 含水率曲線を Fig. 24 に示す。乾燥経過の章でのべたように風上側の乾燥が早く、ある分布をもちながら乾燥していくことから当然であろうが、送風方向の長さが小さいものほど同一含水率における平均的な乾燥速度は大きく、長さが小さい場合、その影響はとくに著しい。

Fig. 25 はこの単板の長さとの関係を求めたもので、破線は乾燥機における乾燥むらに関連して行なった実験のブナ単板の乾燥時間である¹⁵⁾。このように 2 組の実験結果はいずれも送風方向の長さとの乾燥時間が両対数方眼紙ではほぼ直線関係にあることを示し、単板が異なるにもかかわらず直線の傾斜はほとんど等しい。したがって両者の関係は今までとりあげてきた諸因子と同様、次式によってあらわすことができる。

$$t = t_0 \left(\frac{x}{x_0} \right)^{0.20} \dots \dots \dots (19)$$

ただし、 t, t_0 乾燥時間 (min), x, x_0 送風方向の長さ (cm)

また、ここでの基準条件に対しては

$$t = 0.55 t_0 x^{0.20} \dots \dots \dots (20)$$

c) 初期含水率の影響

同一種類の単板について初期含水率をかえ、一定空気条件において乾燥したときの乾燥速度曲線を Fig. 26 に示す。このように初期含水率がひくくなるにつれて、恒率的乾燥速度を示す期間がみじかく

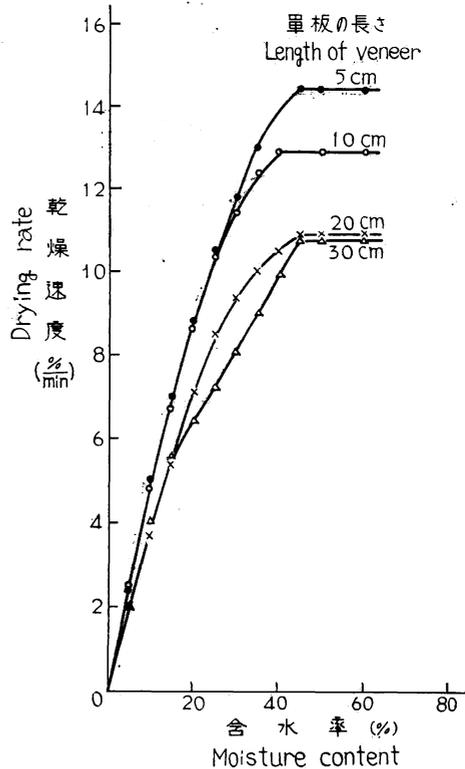


Fig. 24 各種送風方向単板長さに対する乾燥速度曲線

Drying rate curves for different length of veneer parallel to air flow.

Specimen and drying condition: 1.0 mm thick birch veneer, dry bulb temperature 120°C, wet bulb temperature 45°C, air velocity 2.2 m/sec.

なり、同一含水率における乾燥速度は大きくなる傾向がみられる。しかし、初期含水率による乾燥速度の差も、ある期間経過したのちには非常にすくなる。したがって、初期含水率が60%を中心として極端に大きな差がない場合は、乾燥初期の速度を一定として初期含水率による乾燥時間の補正を次のようにすることができるとと思われる。

$$t = t_s + \frac{u_a - 60}{C_a} \dots \dots \dots (21)$$

ただし、 t_s 含水率範囲 60~10%を乾燥するための時間 (min), C_a 乾燥初期における恒率的乾燥速度 ($\frac{\%}{\text{min}}$), u_a 初期含水率 (%)

式中の C_a を樹種別に実測した結果を次項 Table 4に示しているが、これは温度の影響の項でのべた蒸発係数 k (5式) が求められれば、次式のように比重、外気条件によって定まる値である。

$$C_a = k \frac{200 \Delta\theta}{60 rd} \frac{A_a}{A_o} \approx k \frac{200 \Delta\theta}{60 rd} \dots (22)$$

ただし、 $\Delta\theta$ 乾湿球温度差(°C), r 全乾比重,
 d 全乾時の厚さ (cm), A_a, A_o
生材時および全乾時の面積 (cm²)

Table 4 の乾燥速度 C_a から k を逆算してみると、ブナ(辺)、シナをのぞけばいずれも $2.6 \sim 2.8 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2\text{h}^\circ\text{C}$ であって、Fig. 13 のマカンパ単板について求めた蒸発係数 $2.7 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ とほぼ一致している。なお、これらの値は風速 2.2m/sec の場合であるが、蒸発係数と風速との関係は Fig. 20 に示している。

以上のことから、大部分の樹種では、純粋な恒率乾燥の場合と同様に、任意の温度、風速に対する C_a を計算によって求めうるものと思われる。

d) 樹種の影響

いくつかの樹種を上述の基準的条件において乾燥した結果を Table 4 に示す。ここでの乾燥時間も含水率範囲60~10%について求めており、厚さの異なるものは、(21)式により補正し厚さ 1.0 mm の乾燥時間に換算している。

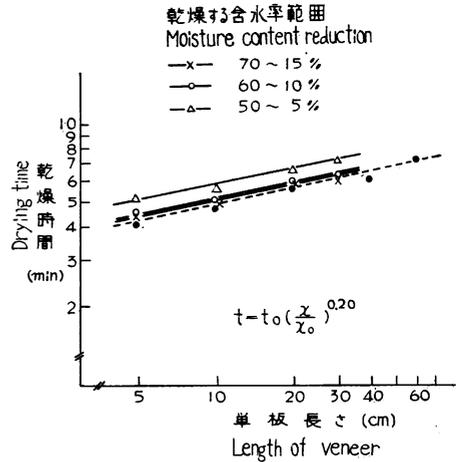


Fig. 25 送風方向単板長さとの関係

Relationship between length of veneer and drying rate for different moisture content reductions.

Specimen and drying condition: 1.0 mm thick birch veneer (dotted line: 1.5 mm beech veneer), dry bulb temperature 120°C, wet bulb temperature 45°C, air velocity 2.2 m/sec.

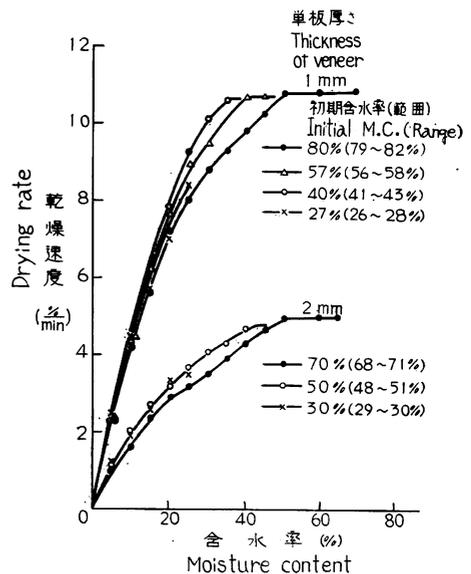


Fig. 26 各種初期含水率に対する乾燥速度曲線

Drying rate curves for different initial moisture contents of veneer. Specimen and drying condition: birch veneer 20×20 cm, dry bulb temperature 120°C, wet bulb temperature 45°C, air velocity 2.2 m/sec.

Table 4. 各種樹種の乾燥時間
Drying times of rotary veneers of several species.

樹種 Species	厚さ Thickness (mm)	比重 Specific gravity, oven-dry	乾燥初期の 乾燥速度 Drying rate in first stage (%/min)	乾燥時間*1 Drying time	
				測定値 Measured (min)	厚さ換算値*2 Converted (min)
マカソバ Birch	1.01	0.72	10.8	5.9	5.9
ブナ(辺) Beech(sap)	0.99	0.62	15.2	4.3	4.3
ブナ(心) Beech(heart)	1.00	0.68	10.7	5.7	5.7
シナノキ Basswood	1.01	0.44	19.5	3.4	3.4
Tangile	0.90	0.46	18.0	3.9	4.3
Almon	0.90	0.45	17.4	4.4	4.9
Mayapis	0.97	0.45	18.0	4.5	4.6
Bagtikan	0.98	0.51	15.3	4.3	4.4

Note *1 Drying time for moisture reduction from 60% to 10%.

*2 Drying time converted in 1 mm thickness.

Specimen and drying condition: veneer size 20×20 cm, dry bulb temperature 120°C, wet bulb temperature 45°C, air velocity 2.2 m/sec.

比重の大きい樹種は厚さの場合と同様、蒸発した水分量が同じでも含水率の減少は小さくなり、さらに低含水率時の乾燥速度を支配する内部水分の移動が、比重や材の組織構造の差異によって異なるため、Table 4 のような樹種による乾燥時間の差があらわれる。しかし、単板の場合は厚さがうすく、ひき材の場合より内部水分の移動性によって支配される程度がすくないので、ひき材について従来えられている結果¹⁶⁾ほど樹種間の差は大きくないように思われる。

Table 4 において、シナの乾燥時間が生産工程における経験値より非常に小さい値になっているが、これは同一含水率範囲を乾燥するための時間を求めているためで、現実には初期含水率が非常にたかく、乾燥に長時間かかる樹種の一つであり、このような樹種特有の初期含水率の差によって、実際の乾燥時間が大きく影響される点は十分考慮しなければならない。

2-3. 乾燥時間の推定

以上とりあげてきた諸因子と乾燥時間との関係をここで総括し、実際の乾燥機における乾燥時間について考えてみよう。

いままでの実験により、温度、湿度（乾湿球温度差）、風速、単板厚さ、送風方向の単板長さとの間には、それぞれ放物線的な関係にあることを知り、そこでの指数の値を定めることができた。このような外周空気条件、単板条件はそれぞれ相互に他の因子の影響をうけるものと考えられ、上記の実験のように該当する因子のみをかえて乾燥時間との関係を求めることは、厳密には問題があるが、普通の乾燥工程で対象となる比較的限定された条件については、一応上述の一定の関係とみなしてよいものと思われる。したがって、乾燥時間と空気条件、単板条件との関係を整理すると次式のようなになる。

$$t = K t_0 \frac{d^{1.30} x^{0.20}}{\theta^{1.50} [\Delta\theta + 0.93(\theta_0 - \theta)]^{0.64} v^{0.26}} \dots\dots\dots (23)$$

ただし、

$$K = \frac{\theta_0^{1.50} \Delta\theta_0^{0.64} v_0^{0.26}}{d_0^{1.30} x_0^{0.26}}$$

t, t_0 ある条件, および基準条件における乾燥時間 (min), θ, θ_0 乾球温度($^{\circ}\text{C}$), $\Delta\theta, \Delta\theta_0$ 乾湿球温度差($^{\circ}\text{C}$), v, v_0 風速 (m/sec), d, d_0 単板厚さ(mm), x, x_0 単板の送風方向長さ(cm)

なお, ここでえらんだ基準条件に対する K の値は 4.67×10^4 となり, 基準条件における乾燥時間 t_0 は樹種, 含水率範囲によってかわる。

したがって, このような基準条件に対する K と, 基準乾燥時間が予め求められておれば, (23) 式より任意の空気条件, 単板条件に対する乾燥時間を推定しうることになる。

ただ, Table 4 に示しているような基準乾燥時間は, 同一樹種であっても比重, 木取りなどによってある程度異なる。また, 実際の乾燥機においては, ローラーや金網による接触加熱の影響をうけ, 機内の温度, 風速もローラー, ヒーターなどの配列によって複雑な分布を示す。このため, 乾燥機内の条件を単純な空気条件として規定することはむずかしく, 上述の実験結果から, 特定の単板を乾燥機で乾燥するときの所要時間の絶対値を予測することは困難であるが, それぞれの乾燥機においてすでに測定された資料がある場合, 温度, 風速, 単板厚さなどが変化したときの相対的な関係については, (23) 式より実用上十分な精度で推定しうるものと思われ, このことは実際にいくつかの乾燥機について確認された。

摘 要

高温熱風によって単板を乾燥する場合の乾燥経過および乾燥速度について検討し, 次のような点が明らかになった。

1. 単板の乾燥経過

一般の乾燥機内のように単板の面にそって加熱空気がながれる場合, 単板の風上側の端部では, 外周条件がそのまま単板に与えられるので, その条件に相応した特定の乾燥経過をたどり, この部分の乾燥速度は近似的に KEYLWERTH の提唱する次式で示される。

$$\frac{du}{dt} = -cu^a$$

$\frac{du}{dt}$ 乾燥速度, u 含水率, c, d 単板条件, 乾燥条件によってきまる常数

これに対し, 風下側の部分は風上側の部分の乾燥によって空気条件が変化するので, それぞれ異なった乾燥経過をとる。

したがって, これらが集めた単板全体の経過は, 単板の形状によって異なるはずで, これらを単一なものとして規定することは妥当でない。

しかし, 標準的な条件のもとでは, 乾燥初期, 乾燥速度がほぼ一定な値を示し, つづいて含水率の減少にもなって直線ないしは凸な曲線関係で減少していく場合が多い。ただ, 乾燥初期の状態も純粋な恒率乾燥ではなく, この時期に単板温度は上昇し, 部分的に収縮を始める。

2. 単板の乾燥速度

単板の乾燥速度に影響する諸因子のうち, 空気条件では温度が最も重要な因子であって, 乾球温度と単板を含水率60%から10%まで乾燥するための時間との間には次のような関係がある。

$$t = t_0 \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right)^{-1.50}$$

t, t_0 任意の温度 $\theta(^{\circ}\text{C})$ および基準温度 $\theta_0(^{\circ}\text{C})$ における乾燥時間 (min)

単板条件では主として厚さと含有水分量が乾燥時間を支配し、単板厚さと乾燥時間との関係は次式によって示される。

$$t = t_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{1.80}$$

t, t_0 任意の単板厚さ $d(\text{mm})$ および基準厚さ $d_0(\text{mm})$ に対する乾燥時間(min)

また、含有水分量は比重が大きくて初期含水率の高いものほど多く、初期含水率の高いために延長する乾燥時間は、実験的に求めた乾燥初期の乾燥速度から算定される。

このほか、湿度、風速、送風方向における単板の長さについても、乾燥時間との間に一定の関係があり(23式)、ある条件における乾燥時間が既知の場合、空気条件、単板条件が変化したときの乾燥時間を推定しうる。

文 献

- 1) KEYLWERTH, R.: Der Verlauf der Holztemperatur während der Furnier und Schnittholz-trocknung, Holz als R. und. W., 9, 3, (1952)
- 2) BETHEL, J. S. and R. J. HADER: Hardwood veneer drying, Jour. of For. Prod. Res. Soc., 2, 5, (1952)
- 3) KEYLWERTH, R.: Furnier Trocknungsversuche, Holz als R. und W., 10, 1, (1953)
- 4) FLEISCHER, H. O.: Veneer drying rate and factors affecting them, Jour. of For. Pro. Res. Soc., 3, 3, (1953)
- 5) FLEISCHER, H. O.: Drying rates of thin section of wood at high temperatures, Yale University. School of Forestry, Bulletin, 59, (1953)
- 6) 押田勇雄: 蒸発, 乾燥, 河出書房, (1953)
- 7) 小倉武夫・大沼加茂也: 恒率乾燥における蒸発速度の実験式, 木材学会誌, 1, 1, (1955)
- 8) 寺沢 真・筒本卓造・小玉牧夫: 木材乾燥装置に関する研究(IV), インターナルファン型乾燥室における棧積み内の乾燥むらについて, 林試研報, 143, (1962)
- 9) 小倉武夫: 木材の乾燥機構に関する研究(IV), 水分伝導度の外周条件による影響, 林試研報, 51, (1951)
- 10) KOLLMANN, F.: Technologie des Holzes und der Holz-werkstoff, 1, (1951)
- 11) 寺沢 真・岩下 睦: 木材乾燥操作に関する基礎的研究(I), 乾燥特性曲線について, 林試研報, 81, (1955)
- 12) 筒本卓造・佐藤庄一: 単板乾燥に関する試験(II), Coe型乾燥機における機内空気条件の検討と乾燥試験, 林試研報, 107, (1958)
- 13) 林業試験場編: 木材工業ハンドブック, 丸善, (1958)
- 14) 小倉武夫: 木材の乾燥機構に関する研究(I), 表面蒸発速度及び水分伝導度と板の厚さとの関係, 林試研報, 42, (1949)
- 15) 筒本卓造: 単板乾燥機における乾燥むらについて, 木材工業, 9, 10, (1954)
- 16) 寺沢 真・小玉牧夫: 木材乾燥操作に関する基礎的研究(III), 木材人工乾燥における乾燥時間の推定図表について, 林試研報, 97, (1957)

Studies on the Drying Characteristics of Veneer (I).

On the drying progress and the drying rate of veneer.

Takuzô TSUTSUMOTO

(Résumé)

This paper reports on a study conducted to clarify the drying progress and the drying

rate affected by many factors in the convective drying of rotary veneer. The results obtained are summarized as follows :

1. Drying progress of veneer

When the veneer was dried rapidly at high temperature above 100°C, the locative uneven drying could not be avoided.

Under the general air circulation in which the heated air was blown along the surface of veneer, the drying rate of the narrow part of entering veneer side was greater than the remaining part. Limiting consideration to the part of entering veneer side, the relation between drying rate and moisture content was approximately given by the following KEYLWERTH's equation,

$$\frac{du}{dt} = -cu^d$$

where $\frac{du}{dt}$ = drying rate ($\frac{g}{g}$ /min), u = moisture content (g/g), c , d = constant determined by the conditions of drying air and veneer, respectively.

The drying progress of the remaining part of veneer, however, was different from the entering veneer side part, because the air temperature in the remainder was dropped gradually by the evaporation at the entering veneer side part (Fig. 7).

It was not reliable, therefore, to express the drying progress of the whole part of veneer by a simple definite formula. But, in many tests, the drying progress of the whole part of veneer was observed as follows : the drying rate was kept at a certain constant value in the first period of drying, and even in this period the temperature of veneer was not kept at wet bulb temperature, and shrinkage of veneer occurred partially. After this period the drying rate decreased with drop of moisture content in a linear and a convex curve relation (Fig. 5).

2. Drying rate of veneer and factors affecting it.

Drying rate of veneer was affected by many factors such as air temperature, air velocity, thickness and size of veneer etc., but above all the important factors were the air temperature and the veneer thickness.

From the data of drying time concerning each factor, an equation that was used to estimate the drying time for moisture reduction from 60% to 10% at given conditions was developed as follows :

$$t = K t_0 \frac{d^{1.30} x^{0.20}}{\theta^{1.50} (\Delta\theta + 0.93(\theta_0 - \theta))^{0.64} v^{0.26}}$$

where t , t_0 = drying time at given or standard condition (min), K = constant determined by standard condition, θ , θ_0 = dry bulb temperature (°C), $\Delta\theta$ = wet bulb depression (°C), v = air velocity (m/sec), d = thickness of veneer (mm), x = length of veneer parallel to air flow (cm).

When the initial moisture content of veneer is other than 60%, the drying time may be corrected in many cases by the following equation,

$$t = t_s + \frac{u_a - 60}{k \frac{200\Delta\theta}{60rd}}$$

where t = drying time of veneer from given initial moisture content (u_a) to 10% (min), t_s = drying time from 60% to 10% (min), k = evaporation coefficient shown in Fig. 13 and 20 (g/cm²hr°C), r = specific gravity when oven dried, d = thickness of veneer when oven dried (mm), $\Delta\theta$ = wet bulb depression (°C).