赤外線による繊維の迅速乾燥

第2報 赤外線乾燥を利用した迅速水分計*

岡 村 勲** 藤 本 枝 太**

The Rapid Drying of Fibers by Infrared Rays, Part II. Rapid Moisture Meter by Infrared Drying by

Isao OKAMURA and Shigeta FUJIMOTO (Teikoku Rayon Co.)

The methods adopted hitherto to determine the moisture content of fibers are called drying methods. It takes long time (3-4 hours) by these methods, so, many electrical methods have been developed to obtain more rapid measurements. By these methods it has become possible to measure almost instantaneously, but these methods have insufficient accuracy and must be calibrated for each given condition.

We have made an equipment by which the moisture content can be measured in a short hours (for 10-15 minutes) making use of infrared rays instead of the usual hot air in order to shorten the time for measurements.

We report in the present paper the results obtained by this method. This equipment is composed by the combination of the usual infrared rays lamp for drying and the balance for weighing the samples. The moisture content is indicated on the moisture scale utilizing the variation in the weight caused by drying. This equipment has an accuracy of 0.05% in regard to the moisture content.

The moisture vaporized by drying varies with the voltage of the infrared lamp and indicates as the higher value as the voltage becomes higher. This higher value means that the degree of the drying of fibers is promoted as much.

The value obtained by this method is different from that of usual methods according to the drying condition, therefore it is necessary to obtain previously the calibrated value of given conditions beforehand.

One of the characteristics of this drying method is that the same drying rate diagram is obtained regardless of the different initial moisture content, if measured in the same drying condition. (Received October 9, 1956)

1. 緒 言

繊維状物質の水分の測定は通常熱風乾燥による乾燥減量から求められていたが、この測定には少なくとも3~5時間を要する。一般の分析、または現場の生産管理の目的には、できるだけ時間の遅れの少ないもの、すなわち瞬時指示を理想とするが、その第1歩として赤外線乾燥を利用した水分計を試作した。これに類するものは、すでに発表されているが、不十分な点が多い。本装置はその精度は幾分犠牲としても測定の迅速を目的としたもので、普通の試料の場合、5~10分で水分を自動的に指示測定することができた。Townsen & Mercer のものは 300 watt の赤外線電球を集光して、人絹、スフ、または綿において5~10分間で恒量

に達しているが、秤量が天秤式で乾燥に伴う試料の減量を分銅で追ってゆく不便がある。また、Cencoの製品は同じく赤外線電球で試料を加熱するが、スプリング式トーションバランスで試料の乾燥に伴う減量を手で追ってゆく装置である。

2. 本装置の構造および測定法

本装置の構造の概要を第1図に示す。本装置は秤桿の傾斜によつて重量を直示することのできる天秤と、試料を直接加熱する赤外線電球の組合せで、試料の乾燥量がそのまま指示できる。秤桿Aは一方の秤皿Bと他端のCなる分銅とにより釣合ひ、目盛Dを光源LとプリズムPにより窓Eに拡大投影する。赤外線電球Fは外部より50~80Vの適当な電圧を与え、秤皿B上の試料Gを上方より直接加熱する。秤桿の揺動を防ぐため、秤皿Bの下にオイルダンパーHを置く。試料

* 原稿受付 昭和31年10月9日

** 正員 帝国人造絹糸株式会社

Fig. 1. Schematic diagram of the apparatus.

10.00gを秤皿に載せた場合、目盛を0に、また、試料9.00gの場合に目盛1.0を指示するようにすれば（精度0.005g）、目盛は直接原試料に対する水分（減量）を示すことになる。水分の多い場合は、試料を少なくして合計10.00gになるように分銅を追加して測定する。繊維工業で使用する場合は、乾燥試料に対する水分（減量）を示す習慣であるから、目盛から別に計算しなければならない。試料が少ない場合は、不足分だけの分銅を追加して、最初の重量を10.00gとして測定する。また、水分の多い場合は試料を少なくして水の蒸発量が1g以内で秤量できるようにする。要するに、従来の水分測定においては105～110°Cにおいて乾燥したものを冷却後秤量するのに対し、本装置は赤外線によつて乾燥された試料をそのままの状態に測定するものである。試料の種類によつて水分以外の揮発性分のある場合は、乾燥による減量を充分検討しなければならない。

3. 赤外線による乾燥の状態

20°C, 65% R.H.の調湿室中に数日以上放置した各試料を10g（5gの場合は5gの分銅を添加する）正確に秤量し、皿のまま乾燥室に入れ、赤外線電球を適当な電圧により点燈し、試料を照射する。照射時間の経過とともに試料は乾燥され、次第に重量は減少する。この乾燥の速さは電圧の高いほど、試料の層の薄いほど、速いことはいうまでもないが、電圧が高過ぎれば試料は焦げやすく、また薄く皿上に拡げるほど、試料の全量は少なくなり、それだけ測定精度は低下する。試料の状態により一定ではないが、さしつかえない程度で試料は厚くすることが望ましい。赤外線電球は市販の100V—250Wに設計されたものであるが、各電圧によつて乾燥状態に及ぼす影響を各種繊維について、Fig. 2～Fig. 8に示した。なお、図中の鎖線は同時に採取した試料の常法によつて測定した水分（以下標準水分と称する）を比較のために示したものである。赤外線電

球の電圧の低いときは、充分乾燥しないが、電圧の高くなるに従つて乾燥も充分に進む。しかし、電圧の高くなるに応じ試料の温度が高く（後述）なり、試料の焦げる傾向がみえるので、80V以上は測定しなかつた。なお、試料がわずかに着色する程度においては、特にそのために重量の変化は起つていない。電圧の低い場合は乾燥の平衡に達する時間が長いのみならず、標準水分より小さい値を示しているが、電圧の高くなるに

Fig. 2. (a) Vaporized moisture of rayon cord on radiation by infrared lamp.

Fig. 2. (b) Vaporized moisture of rayon cord on radiation by infrared lamp.

Fig. 3. (a) Vaporized moisture of viscose staple on radiation by infrared lamp.

Fig. 3. (b) Vaporized moisture of viscose spun yarn on radiation by infrared lamp.

Fig. 4. (a) Vaporized moisture of cotton on radiation by infrared lamp.

Fig. 4. (b) Vaporized moisture of cotton cord on radiation by infrared lamp.

Fig. 5. Vaporized moisture of pulp sheet on radiation by infrared lamp.

従つて、乾燥の平衡に達する時間も早く、かつ、標準水分よりも多い値を示す。これは標準水分よりも乾燥が進んだことを示すもので、このことを逆にいえば、標準水分はその測定法からみて必ずしも試料の完全

Fig. 6. Vaporized moisture of wool spun yarn on radiation by infrared lamp.

Fig. 7. Vaporized moisture of acetate yarn on radiation by infrared lamp.

Fig. 8. Vaporized moisture of nylon yarn on radiation by infrared lamp.

乾燥を意味せず、いまだ、わずかの水分が残存しているか、または乾燥後デシケーター中で放冷中に吸湿することを意味する。上述の意味では、従来の標準水分は正しい値とはいえないが、長年月にわたつて協定採用され、標準とされているので、本法によつて測定された水分は補正して使用することが必要である。その補正値は電圧、乾燥時間、試料の状態などにより大巾に変化するので、それぞれの場合に応じ適当に決定しなければならない。Table 1 は Fig. 2~Fig. 8 における平衡状態における水分を標準水分に比較し、補正値を

Table 1. Correction of moisture content for several fibers.

Name	High tenacity rayon		Viscose S.F.		Cotton		Pulp	Wool	Acetate	Nylon
State	1650D/720	Cord 1650×2	2d×2'	Spun yarn 20'S	Fiber	Cord 20'S/6/3	10×10cm	Spun yarn 28'S	100D/33	840D/140
Weight (g)	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00	5.00	6.50	4.00	5.00	5.00
Moisture content (standard) (%)	14.84	14.82	14.10	13.92	8.26	9.10	8.52	14.40	6.50	4.12
Correction of moisture content (%)										
at 50 V	+1.86	+1.51	—	—	—	+0.10	—	-0.55	—	—
at 60 V	+0.31	+0.30	-0.60	-0.22	-0.30	-0.11	+0.22	-1.62	-0.11	0.0
at 70 V	-0.15	-0.42	—	-0.38	-1.05	-0.21	-0.11	-2.12	-0.32	-0.86
at 80 V	-1.04	-0.92	-1.21	-0.80	-2.03	-0.42	-0.58	-2.30	—	-1.06

求めたものである。

Table 1 からわかるように、だいたい 60V 程度の電圧で乾燥した場合が最も小さい補正値を示すが、平衡になるまでに 20～30 分の時間を要する。実際はさらに、電圧を上げて時間を短縮することが望ましく、ある条件(平衡になる以前のある時間)における補正値を各自適宜に求め、これを同一条件で測定すれば、測定時間を 10 分程度まで短縮することができる。その場合、精度は幾分犠牲となるが、本測定機の目的は迅速測定にあるので、実際問題としては測定回数を増すことによつて精度の低下はある程度補うことができる。

羊毛の補正値は他の繊維と異なり、非常に大きい値を示しているが、これは常法による乾燥では、充分乾燥が行われていないことを意味するものと考えたい。

4. 乾燥速度

赤外線乾燥は前報告に示すように、乾燥速度が非常に大きいことが特長であるが、その水分に対する乾燥速度曲線のおもなものを Fig. 9～Fig. 14 に示す。これら乾燥速度曲線は一般の乾燥(後述)のように恒率乾燥の部分がなく、ただちに減率乾燥から始まっていることは、いわゆる附着水がなく、ほとんど結合水の状態から乾燥が始まったためであろう。いずれの場合においても、乾燥当初において、曲線が下部に彎曲していることは試料の予熱の影響である。赤外線電球に与える電圧の大きいほど、乾燥速度の大きいことは、いずれの場合も同様である。人絹、綿、および羊毛について、だいたい同一条件における乾燥速度を比較すれば、人絹が最も小さく、羊毛が最も大きく、綿はその中間の値を示す。これは人絹は乾燥しがたく、羊毛は乾燥しやすいといわれていることを裏付けている。人絹用パルプの乾燥について、厚さの影響をみるため、1 枚～3 枚重ねた場合の乾燥状態を Figs. 15, 16 に示す。照射面の位置における輻射熱の差異(後述)に基づく誤差を除くため、各試験とも皿上の同一位置に径約 80 mm に切断したものをそれぞれ重ねて測定した。したがって、

1 枚当りの重量を風乾において 3.00 g に調節した。電圧は 80 V としたため、Fig. 5 および Fig. 11 とそのまま対照することができる。パルプの厚さが厚くなるに従つて、水分の蒸発する割合の減少するのは、厚さによ

Fig. 9. Relation between drying rate and moisture of pulp sheet.

Fig. 10. Relation between drying rate and moisture of rayon cord.

Fig. 11. Relation between drying rate and moisture of cotton cord.

Fig. 12. Relation between drying rate and moisture of wool spun yarn.

Fig. 13. Relation between drying rate and moisture of acetate yarn.

Fig. 14. Relation between drying rate and moisture of nylon yarn.

Fig. 15. Vaporized moisture of pulp sheet on radiation by infrared lamp.

る放射線の吸収が起り、下部のバルブの温度上昇が遅れ、それだけ乾燥に要する時間は長くなるためである。この状態をFig.17から了解することができる。すなわ

Fig. 16. Relation between drying rate and moisture of pulp sheet.

Fig. 17. Relation between temperature and radiation time of pulp sheet.

ち、バルブ4枚を重ね、その間にそれぞれ銅—コンスタンタン熱電対を挿入し、80Vで点燈した場合の時間の経過に対する各バルブの間の温度上昇を測定した。電球からの放射線がバルブ1枚を通過した場合の温度上昇は最も高く、バルブの厚さの増加するに従つて、温度上昇はゆるやかとなり、また、その最高到達温度も低い。

5. 試料上の放射線の強度分布

赤外線乾燥は恒温乾燥と異なり、試料の温度は試料自体の赤外線の吸収による発熱と外気による冷却の程度から決まる。したがって、乾燥過程における試料の温度の変化は大きい。実際問題として、繊維素による赤外線の吸収は水のそれに比較して非常に少なく、そのために乾燥速度の大きい割に試料の焦げることは少ない。

赤外線電球からの放射線は必ずしも試料に均一照射されていない。電球からの距離、方向、金属反射鏡膜、フィラメントの形状、および位置などによって異なるが、現在、使用中の水分計について測定した一例をFig.18に示す。測定方法は電球を80Vで点燈し、乾燥皿の上に皿より大きいバルブ2枚を重ね、その間に

Fig. 18. Temperature deviation of pulp sheet on scale pan.

銅—コンスタンタン熱電対を直径方向に移動して各部の最高温度を測定した（電球の下端とパルプの距離は10cm）。輻射線の分布は、通常使用している状態においては、だいたい各部分とも均等に照射されているとみても差支えないようである。さらに、広範囲に照射したい場合には、電球からの距離を増加することによりある程度目的を達するが、電球の反射鏡膜の関係で複雑な分布を示すことがある。

水分の多い試料を測定する場合は、その蒸発減量が1g以下になるように最初の試料を調節しなければならない。人網パルプを水に浸したものを取り出し、別の乾燥パルプの間に挟み、余分の水分を除いたもの（水分約90%）、および、さらに数時間風乾したものについて行つた乾燥の状態をFig.19およびFig.20に示す（Fig.5およびFig.9と比較）。これほど水分の差の大きい浸水試料の場合も、風乾試料の場合と同様、だいたい10分ぐらいの乾燥時間で平衡状態に達していることは、赤外線乾燥の有効性を物語っている。風乾試料の場合は、

Fig. 19. Relation between initial moisture and drying speed.

Fig. 20. Relation between initial moisture and drying rate.

恒率乾燥の部分がなく直接減率乾燥から始まっているが、最初の水分の多い試料においては、Fig.20に示すように、明瞭に恒率乾燥、減率第1段および第2段乾燥がみられる（恒率乾燥以前の下降曲線は試料の予熱の部分であることは前述のとおり）。これより水分の少ない試料についても、水分の少なくなるに従つて次第に恒率乾燥の部分が少なくなり、遂に減率乾燥から始まるようになるが、その乾燥速度は initial moisture が異なつても、同一の乾燥速度曲線をたどつて行く状態をFig.20に示す（図中・印はFig.9から引用）。Paul-Wilhelm³⁾も、羊毛のフェルトについて赤外線乾燥の場合に initial moisture が異なつても乾燥条件が同じであれば、同一乾燥速度曲線をたどることを報告しているが、これが赤外線乾燥の特長といふことができよう。

これまでの実験は、すべて電球にける電圧を途中で変化しないで、測定中一定の電圧を与えていたが、乾燥時間を短縮する目的で最初の水分の多い間は高い電圧を与え、乾燥が進むに応じて試料の焦損を防ぐ目的で電圧を下げる方法もある。しかしながら、電圧および時間の調節の不確実のために、標準水分に対する補正が煩雑となるので、よい方法とはいわれない。なお、上述の装置は1組の測定器であるが、天秤1台に対し乾燥部分、すなわち試料皿、および電球を多数（4～6箇）装置し、試料皿を回転式にすれば、10～15分遅れの連続的測定ができるので、現場の生産管理には便利である。

6. 結 論

赤外線電球と天秤とを組合せた水分計で赤外線による乾燥、および水分測定を行つた。実験の結果、従来の方法による水分測定より短時間に、かつ充分な乾燥の行われることがわかつた。

注：一

- 1) Townsen and Mercer Ltd, Fiber, Nov. 395 (1949), および Cenco のカタログ
- 2) 島津製作所製
- 3) G.H. Paul and R.H. Wilhelm, Text. Res. J., 18, 573 (1948)