繊維製品の乾燥について*

片 山 定 七**

1. 緒 言

最近乾燥について各方面より多大の関心が拂われて来た。その漸新な方法として赤外線乾燥及び高周波乾燥があつて一時盛んに宣傳された。

併し熱風乾燥機と雖も、基礎的計算を行い、熱交換器及び送風機を有効に使用したものならば、決して赤外線乾燥や高周波乾燥機に劣るものではなく、むしろ熱効率の点において勝っており、生産能力も適当の方法を用いれば現在の数倍の速度を出し得る。ここにその一方法を述べようと思う。

2. 乾 燥

物体が水分を含有している際に、その水分がその温度の水蒸気圧と等圧ならばこれを不拘束水分、又物体とよく親和して等温度の水蒸気圧以下となつておれば拘束水分と称する。

一般に物体が水分を含有している際には上記の二状態をとるのが普通である。

吸湿性の物体即ち多量の拘束水分を含有する物体は一定の空気状態の下ではそれに相当する一定含有水分に到達すればそれ以上は乾燥が進行せず、平衡状態となり大気の状態が一定の際にはこの大気に曝されている間は物体は平衡状態を続ける。

若しこの物体が平衡状態より湿度が低い場合には大気より徐々に水分を吸収して平衡状態となる。

従つて乾燥度は特別の理由がない限りこの大気との平衡状態以上に乾燥を進行させる必要はない。

3. 乾燥方法

乾燥方法を大別すると

- イ、噴霧乾燥
- ロ、真空乾燥
- ハ、接触乾燥（シリンダ乾燥）
- ニ、輻射乾燥（赤外線乾燥）
- ホ、高周波乾燥
- ヘ、対流乾燥（熱風乾燥）

繊維製品の乾燥は従来主として接触乾燥と熱風乾燥とが行われてきた。

併し最近高周波乾燥と赤外線ランプによる輻射乾燥とが盛んに行われるようになってきた。赤外線ランプによる乾燥は、繊維製品の如き比較的含有水分の多い際には発生する多量の水蒸気を処理するために熱風を必要とする場合がある。又捺染した織物は染色によつて赤外線の吸収率に差異があり乾燥むらを生ずる等の欠点がある。高周波乾燥ではその設備費及び維持費が高価である。故に特殊の製品以外には現状では実施困難である。

第二次世界大戦中に米国においては乾燥方法も盛に研究発表され、「テキスタイルワールド誌」（1949. 3 月号）によれば、米国のジョージ・アラバマ・その他の地方における各工場の乾燥機の能率試験の結果、蒸気による乾

燥方法が最も経済的であると結論されている。

4. 乾燥機の設計に關して注意すべき事項

我国においても最近化学繊維の発達と共にその乾燥に關して種々改良が行われているが、多くは熱交換器を増加して熱風の温度或は室温を上昇するか送風機の回転数を増加して風量の増加を図つている。又電熱器赤外線ランプを附設する方法も取られている。

熱交換器を直列に増加すれば抵抗が増加しこれに応じて著しく送風機の風量が減少し反つて全体として熱量の減少をきたし、乾燥速度が降下することがある。

これを補うために送風機の回転数を増加すれば送風機の風量は回転数に比例し、所要馬力はその三乗に比例するから、大容量の電動機が必要となり、實際問題として不可能の場合もある。

従つて乾燥速度を改良するためには上記の方法ではあまり多くは望むことはできない。

ホットテント及びホットフリューでは熱風装置は多く熱交換器から加熱した熱風を乾燥機に送り込みそのまゝ排気孔より全部放出しているので、熱量及び風量の計算の行われた場合は別として、乾燥速度を増加するために送風機の回転数を上げたり熱交換器を変えただけでは熱効率は非常に悪いものである。

空気は熱の不良導体でありその熱容量も標準空気において、約 0.24 BTU/lb で小さい。従つて乾燥目的のためには多量の空気を要するから、被乾燥物の表面を一度通過したのみでは充分に熱を伝達しない。又充分に水分を含有せずに乾燥室より逸出するから熱効率は極めて悪い。故に特殊の事情のない限りは熱風を循環すべきである。

循環空気量は乾燥機の構造、被乾燥物の種類、及び性質により異なるが、織物の場合には大体排気の 5. 6 倍から 20 倍とするのが普通である。

5. 熱交換器及び送風機

前述の如く熱風乾燥機の設計及び改良は熱交換器及び送風機を使用する技術の如何により左右せられるものであるから、次に簡単にその大要を述べることにする。

イ、熱 交 換 器

乾燥機の熱交換器は主としてパイプコイル及びパイプの外側に金属板を挿入したもの或はリボンを巻いた所謂エロフィンヒータが用いられている。

パイプコイルは主として乾絨機等の如く、乾燥に際して塵埃の発生するものに使用し比較的塵埃の少ない製品とか空気濾過器を使用し得る乾燥機では挿込式の所謂カロファイヤー或はエロフィンヒータを用いる。

カロファイヤーは伝熱面積が多いので現在でも相当用いられているが、これはパイプと板との接続部分が完全でないと表面積の多い割合に効率の悪いものである。エロフィンヒータはパイプの表面にリボンを機械的に強圧して巻き付けるので、接触も完全であり、これに亜鉛鍍

* Drying of Textile Fabrics

** S. Katayama, 平野金属合資会社、技師長

金或は鉛鍍金をすればリボンパイプと完全に一体となるから、効率も一段と良化する。

(ロ) 熱交換器の熱伝導率

(A) パイプコイルの熱効率のは次の公式が発表せられている。

パイプ列を直角に通る空気の熱伝導⁽⁴⁾

管の配列	算 式	C の 値				
		列 2	3	4	5	10
併列 ○○○ ○○○ ○○○	$h = \frac{C_v^{.654}}{d^{.346}}$	1.45	1.5	1.54	1.56	1.63
ジグザグ ○○○ ○○○ ○○○	$h = \frac{C_v^{.69}}{d^{.31}}$	1.51	1.71	1.86	1.97	2.14

上式で

h = 伝導熱 BTU/hr/ft²/°F

v = 標準状態における正味通路を通る空気速度

d = パイプの外径の (in)

(B) 米国における市販のヒータでは伝導熱は大体下記の公式で表わすことができる。⁽⁵⁾

$$U = aC^n$$

上式で U = B.T.U./hr/ft²/°F

G = 空気量 (lb)/sec/ft² 最小通過面積 a 及び

n は定数でヒータの表面構造により定まり

$$a = 5.9 \sim 8.9$$

$$n = 0.58 \sim 0.74 \text{ である。}$$

The American Aerofin Bulletin (AIA File 3004) には次の公式 (高圧エロフィン) が発表せられている。

$$\frac{1}{U} = 0.018 + \frac{1}{13(G_a)_{0.8}}$$

上式で G_a = 通過空気量 (lb)/sec/ft² 表面積

U = BTU/hr/ft² 空気に曝された全面積

上記の表面積とはエロフィンヒータの直前の面積でエロフィンチューブの間隙でないから注意しなければならない。

エロフィンヒータではこの表面積の風速 (face velocity) により性能表が作製せられている。この風速は 300 ~ 800 ft にとるのが普通である。この速度範囲以外ではその効率の低下をきたし送風機の抵抗が大となるから使用しない方が得策である。

(ハ) 送 風 機

送風機を大別すると

1. 軸流送風機
2. 遠心送風機

で軸流送風機はプロペラ型はこれと同様の構造で比較的圧力が低くて風量が多いから、最近米国で乾燥機に盛んに使用されている。

遠心送風機は用途により色々な型式がある。即ち

1. 銅板送風機
2. 多翼送風機
3. リミットロード
4. ターボファン

上記の内乾燥機用としては2.と3.が特性より見て適当である。

送風機の特性曲線及び各種の送風機の特長を述べることは紙面の関係上他の機会に譲るとして、上記の多翼送風機を乾燥機に使用する際には翼車に塵埃が堆積し著しく風量の減少をきたし、引いては乾燥速度の低下をきた

すことがあるから注意すべきである。

5. エアージェット乾燥機

在来の熱風乾燥機では熱風は被乾燥物の表面に平行に流れるように設計せられてきた。最近米国においてエアージェットによる乾燥方法が採用せられて著しく乾燥速度を増大している。

恒率乾燥の際には熱風が被乾燥物と平行に流れる際には次式によって計算できる。⁽³⁾

$$h_c = 0.0128 G^{0.8}$$

上式で h_c = B.T.U./ft²/hr/deg F

G = 乾燥空気流量 /lb/hr/ft²

熱風が被乾燥物に直角に吹付けられるとき、即ちエアージェットの際には⁽⁴⁾

$$h_c = 0.37 G^{0.37} \text{ にて表わされる。}$$

W. R. Marshall の発表によればエアージェットを採用した乾燥機では在来の乾燥機の2倍乃至20倍乾燥速度を得られると述べている。筆者も最近ホットテントにエアージェットを採用したが、その成績は極めて好く乾燥速度も在来のホットテントの3~5倍をだすことができた。なおジェットスピードを適当に選定することによりまだまだ改良することも可能と思われる。参考のために最近米国テントドライヤの性能を記載して置く

テント乾燥機の作業と経費

乾燥機形式	多 段	1 段	1 段	1 段
乾 燥 物	織 物	織 物	織 物	織 物
織物重量 OZ/ft ²	9.6	1.545	2.62	3.49
速 度 (ft)/m	72	390	150	390
乾燥機に掛かる織物の長さ (ft)	135	70	52	31
空 気 温 度 (°F)	290	280	260	290
最初含水率 (%)	70	130	100	70.0
最後含水率 (%)	8.0	3.0	10.0	40.0
乾燥時間 (sec)	90~120	9~12	18~24	3.5~5.0
巾 (ft)	5.0	4.0	3.67	3.33
蒸気消費量 (lb)	1.91	1.90	2.17	2.29
蒸 発 水 量 (lb)	1.91	1.90	2.17	2.29
動 力 (H.P.)	48.	52.	27	15
価 格 (弗)	15,000 —25,000	8,000 —12,000	5,000 —8,000	4,000 —6,000

(Cantrsey of Proctor & Schwartr, INC.)

結 び

我国における熱風乾燥は特殊のものを除いては極めて熱効率が悪く乾燥速度もおそい。高周波乾燥や赤外線乾燥も勿論研究すべきであるが就中熱風乾燥機の改良のため一層努力すべきではあるまいか。

使用者側においても使用乾燥機性能を熟知してその改良に積極的に企画していただきたい。

文 献

1. Industrial heat Transfer
Schack Gold schmidt and Paitridge 1935
2. Heat Transmission W.H. McAdams
3. Shepherd Hadeock and Brewer
[Ind Eng chem 30, 388, (1938)]
4. Moestad Farevaage and Farrel
[Ind Eng chem 30, 1131, (1938)]