染色機械の省エネルギー

滝川 正夫 TAKIGAWA Masao
株式会社日阪製作所

1. はじめに

染色機における節水、省エネに対する開発は過去から多く取り組まれてきている。海外においては、1983年のITMA-83にドイツのTHEN社が気流染色機の試験機を出展し、その4年後の1987年のITMA-87で気流式染色機の生産機エヤーフローを出展して注目を浴びた。海外における低浴比気流染色機は、すべて図1のように丸タンク形状の気流染色機となっている。

一方、国内においても、排水規制が強化され低浴比染色機の要望が高まり、1993年には、ロングチューブタイプ (120Kg/チューブ) の気流染色が開発され、市場に投入された (図2)。

しかし、気流染色機は、使用液量を大幅に削減できるが、その走行手段に風力を使用するため、その送風機の動力 (電気コスト) がアップすることから、現在でも気流染色機でなければ加工できない付加価値商品や排水規制の厳しい工場では主流にはなり得ていない。染色機の低浴比化は重点課題であり、空気を使用しない (送風機を使用しない) 低浴比染色機 (浴比1:3以下) の開発が最重点課題であるのは現在も変わらない。その他、現在取り組まれている節水、省エネの考え方としては、染色加工装置の低浴比化はもちろんであるが、それ以外に前後工程を含めて染色加工時間の短縮のためのシステム化、機械の大型化による生地の手詰め込み効率アップに

よる低浴比化、少ロット他品種化に対応する定浴比化 (容量変化に対して同一浴比での染色) での生産効率アップの取り組みである。また将来に向けての浴比1:1以下での加工、水を使用しない染色加工 (CO₂ガス利用の超臨界染色等) も研究開発を行っている。これらの取り組み内容について説明する。

2. 反染め用染色機の省エネの取り組みの経緯

反染め用染色機のスタートは、生地を大きな楕円形のロールで回転させて走行させるウインス型染色機から始まる。ジェット (液流を使用する) 染色機は、1962年に米国のガストン社から発表された、Jetdyeing machineがスタートとされており、丸タンク形状の気中ジェットノズル型の機械である。合繊織物 (PET) の出現により、ジェット液流染色機の開発、改良が盛んに行われ、1972年にラピッドタイプの液流染色機が開発されるまでの液流染色機は、染色の均染性を得るために

図1

図2

は、「生地は完全に染液に浸漬される」ことが必要条件であり、完全流中処理の構造を取っていた。そのため、染色加工浴比は、1:20~1:30位であり現在に比べると、3倍以上の浴比で加工していたことになる。ラピッドタイプの染色機も開発当初は、完全液中構造を採用しており浴比も1:20を切るのは、なかなか難しい状況であった。その後、完全液中構造を止めて低液面化、走行スピードの高速化、低気泡性の薬剤開発があり、浴比1:10~15の液流染色機が出現するに至った。次の転機は、これまで液流のジェットを生地の走行手段に使用していたのを空気すなわち気流のジェットを利用した低浴比染色機の開発である。浴比1:10を切る低浴比化を実現するには、一部の機械を除いて液流ジェット染色機では限界である。気流を使うことにより合成繊維では、浴比1:3以下、綿に代表される親水性繊維でも1:6前後を実現することが可能となった。品位上の問題で、一般的に広く採用されるには至らなかったが、特定品番用として、排水規制の厳しいところや水の使用量に制限される地域（ヨーロッパおよび東南アジアの一部）で採用されるに至っている。染色機における低浴比化（1:3前後）は、生地の走行スピードを高速化（400m/分）して均染性を上げるのであるが、高速化することにより、デリケートな生地では品位欠点が増加することからなかなか汎用性がある機械となっていないのが現状である。

最近の低浴比化への取り組みは、通常の1チューブ当たりの染色容量を多くして、染色時の詰め込み効率をあげて、低浴比化を図る方法である。機械の染色容量を1.5倍（200~250kg/チューブ）にして、一部タンク形

状を大きくして染色加工容量を増加させ、液量はほとんど増加させずに、浴比1:6~1:8での染色を可能にしている。液流染色機での浴比は、この1:6~1:8が限界と言える。

3. 節水、省エネに対する取り組みの考え方

節水、省エネ染色加工機の開発の考え方は、①染色機の構造開発による染色加工液量の低浴比化②詰め込み効率をあげ大容量化による節水省エネ③加工方法の変更（時間短縮）による省エネの3つが上げられる。

3.1 染色加工液量の低浴比化

液流染色機は、丸タンク形状のものとロングチューブやUチューブ形状のものがある（図3、4）。一般的に、丸タンク形状のものが生地詰め込み密度も上がり低浴比化を行いやすいが、生地詰め込み密度が高くなることによる品質欠点（シワ）が出やすく、シワの発生しやすい合繊には不向きである。低浴比化をはかるには、丸タンク形状が有利であるが、丸タンク形状の液流染色機は、ポリエステルや複合素材を加工している国内では品位上の問題で採用されていない。染色機での染色加工液量の低減（浴比の低減）は、チーズ染色機やビーム染色機において先行して開発されてきた。これまで被染物を液の中に完全に沈めて空気に触れないようにして染色してきたのを、液面を下げて染色する低液面染色機の構造開発から始まる。液流染色機の場合、先にも述べたが、満液で染色していたのを半液染色する機械の開発（現在の主流）から始まる。チーズ染色機やビーム染色機の場合、被染物が静止固定されているのでハード開発が比較的簡単なのに対して、液流染色の場合は、被染物を動かして染色する必要があることから、生地を動かすために必要な最低限の液量の確保が必要であり、液流を使う以上液面を下げて運転するにしても限界がある。そのため気流で走行させて、噴霧状で染液を混入循環して、染色をする気流染色機が開発された。現在の気流染色機の染色浴比は、ポリエステルで1:3、セルロース系繊維で

図3

図4

1:6の染色浴比である。気流染色機での節水、低浴比化は構造上の問題からこれが限界と思われる。しかし、節水面では、通常の液流染色機の平均浴比1:10と比較すると約1/3となり水の使用量は大幅に削減できたが、気流を送る送風機の電気消費量がアップすることから拡張が図れていない理由でもある。

3.2 染色機の大容量化による低浴比化

節水、省エネをはかる手段として生地を機械への詰め込み密度を上げて相対的に浴比を減少させる方法がある。染色槽の一部分のタンク径を1ランク大きくし、1チューブに1.5倍の生地を詰め込んでも、配管や染色槽の液量は1.5倍増加しないことから、低浴比化をはかるものである。染色容量が1.5倍になると言うことは、染色機に入れる生地の長さが1.5倍になり同じ走行スピードでは、生地が一循環する時間が1.5倍になり、加工時間が長くなり、生産性が落ちる。そのため、高速走行できるように設計し、染色加工時の布速を最大500m/分以上まで出せるようにする必要がある(図5)。

3.3 加工時間の短縮による節水と省エネ

染色の加工レサンプや加工工程を見直しして、節水、省エネの取り組みを行ってきている。ここでは、これまで取り組んできた工程短縮の方法やシステム化の内容について説明する。

1) 高温排水水洗システム

高温排水水洗システムとは、冷却と水洗を同時に行うシステムである(図6, 7)。具体的には、染色最高温度の染色排液と水洗水を、熱交換器を介して徐々に冷却しながら液置換し、槽内の液を新しい温水と入れ替えるシステムである。1フロアの標準機(標準容量120~150kg)でポリエステルを染色する場合、130℃でのキープ時間終了時点から後の水使用量が8600Lit→5900Lit(31%減)、時間が80分→40分(50%減)になる。

高温排水水洗のメリットは、ポリエステル染色を例にあげると、高温排水水洗を行うことにより、これまでの

冷却工程が水洗を兼ねるため、通常的水洗を削減することができる。このことにより、染色機の熱交換器で冷却するための冷却水は不要になり、また還元洗浄工程も省略できることから、水の使用量が大幅に削減できる。同時に、工程省略(還元洗浄、水洗)ができるため、トータル染色加工時間の大幅な短縮がはかれる。また複合的な効果として、染色最高温度から染液と新温水との置換を始めるため、槽内の不純物が高温で溶解されたまま排出され、オリゴマー等が生地または釜に付着することが非常に少なくなる。その結果、釜洗を従来に比べて大幅に少なくすることができ、釜洗回数が少なくなることから、染色機の稼働率が上がり生産性が向上する。

2) 低液釜染システム

染色機では、濃色から淡色までいろんな濃度の染色を行う。また、いろんな薬品を使用する関係で、機械の汚れに応じて染色槽の缶体釜洗浄を定期的に行っている。多いところでは、1回/日のペースで行っているケースもあり非常にエネルギーおよび時間ともロスが多い。釜洗浄に要する時間は機械が生産していない時間であり、生産に寄与しない時間であるので、できるだけ短時間で行う必要がある。これまでの釜洗浄は、釜全体に水をはり、満液状態で行ってきた。満液時は、通常、染色工程液量の約3倍の液量になり、その結果、昇温時間および冷却時間が3倍となり釜洗の時間短縮が課題であった。低液釜洗システムは、染色時の液量以下で釜洗浄を行うシステムである。缶体上部に釜洗浄用ノズルを取りつけ低液面で、缶体表面をノズルのジェット液流で物理的に洗浄するシステムである。ポンプの力で各ブロックごとに、高ヘッドジェット液流で洗浄するため洗浄効率が良く釜洗頻度も少なくてすむ。低液釜洗システムのメリット(削減率)は、釜洗浄水使用量で67%、冷却水使用量で67%、使用電力消費量で30%、蒸気使用量で65%、釜洗時間で30%、その他釜洗薬品使用量で50%になる(図8)。

図5

図6

図7

図8

4. 今後の開発への取り組み

1) 水系での開発の取り組み

節水、省エネを目標に染色機の低浴比化、大容量加工機の開発、システム開発による時間短縮と工程省略にこれまで述べた。理想とする開発ターゲットは、染色加工浴比1:2~3での染色技術確立と1:1以下での染色技術確立である。浴比1:3の染色技術確立はハード、ソフトとも現在では確立し、現在の気流染色機で実用化されている。浴比1:3が、浸染での低浴比化の限界と考える。しかし、1:1以下での染色技術確立の試験は、これまで何回もトライアンドエラーを繰り返して挑戦してきた。1:1以下の浴比は、染色技術と言うよりもロープ状の生地に均一にパッドし、発色させる無地のプリントや連続染色に近い染色方法の開発である。均一に染料を付与すれば均一に染色（発色）できるとの考え方で、気流染色機で乾いた生地を高速回転させておき、染料を定量付与してピックアップ100%（浴比1:1）にし、

染色する技術開発を過去に行ってきたが、均一な染色結果が得られず断念した。しかしこの経験を生かして、ポリエステル製の極低浴比気流減量加工装置を開発した。これは、ポリエステルの織物を乾いた状態で走行させておき、昇温しながら苛性ソーダを定量注入して生地に定量付与し、ピックアップ70%~100%（加工浴比1:1以下）で減量加工するものである。さらに節水、省エネを考える場合、染色機単体での技術開発では限界であり、前後工程を考慮に入れた技術開発が必要不可欠である。例えば、拡布状態で生地に染料をピックアップ60%~100%で付与し予備乾燥して、気流染色機で発色および風合いだしと発色をする方法などが考えられる。拡布での加工のデメリット（風合いが硬い）を気流染色機で発色を兼ねてモミ、風合い改善をさせることにより付加価値付けが可能となる。インクジェットやマングル等を用いない付与装置（DJ）を使用すれば、節水と省エネと設備の有効利用が可能になる。

これまで布染めでの節水、省エネを中心に述べてきたが糸染めについても現在取り組んでいる。チーズの巻密

図9 大型超臨界装置のフロー図

度を高密度にして、装填効率を上げて浴比の低減をはかる方法である。通常のポンプでは液循環が難しいので脈動を利用して染色を行うものである。チーズ巻き密度 $\rho = 0.7\text{g}/\text{cm}^2$ で染色浴比は、1:3まで可能である。脈動を使うことにより高密度でも染色結果はかなり良く、節水と省エネが可能となっている。

2) 超臨界染色装置の開発

省エネおよび節水を考えると水を使用しない染色がもっとも理想的である。いろんな文献や講演会で超臨界炭酸ガス流体を利用した染色について述べられている。現在超臨界流体を用いた染色技術は、ほぼ確立している。ポリエステル生地を用いて、試験機で染色実験を行い、染料種類選定と染色性について確認を完了した。装置のフローを図9に示す。実験結果から見るとポリエステルの分散染料による染色は、機械のイニシャルコスト、加工コストメリットは別として、ほぼ実用化するための技術的課題は解決したと考えている。機械仕様のには、1500リットル、20Mpa、200℃の仕様程度までは充分設計可能である。超臨界装置の開発では、イニシャルコストの低減と炭酸ガス回収装置のコストの低減にある。炭酸ガスの回収は、95%以上のシステムを組むのは技術的に可能となっており、実績化もはかっている。

5. まとめ

いま、機械開発では「環境対応」がテーマである。節

水、省エネに始まり機械から污水排水を出さないことが近々重点テーマとなる。先に述べた超臨界炭酸ガス流体での染色はそれの有力な技術であるが、まだまだ生産機としての実用化には付加価値づけも含めて時間がかかる。污水排水を出さない染色機の開発が今後ターゲットとなってくる。一部その取り組みも行っているが、現状は発生した排水は、一カ所にまとめて廃液処理している。これからは、機械から排水するとき、染料残や薬品を機械単体で廃液処理して排出し、その水をリサイクルするシステムの構築である。機械単体での排水の処理は、使用薬品がはっきりしており、比較的廃液処理がやりやすい。濃縮も一つの手段であるし、またフィルターで濾過するのも一つの手段である。何が混入しているかわからない工場排水をまとめて処理の方がよほど難しい。既設の廃液処理設備があるところは良いが、新工場設置の場合では、排水処理設備のイニシャルコストは非常に大きな負荷になる。機械単体または染色だけの集合廃水処理等を考慮に入れた環境対応の開発を行っていきたい。

これまで節水、省エネについての取り組みと実際行ってきた内容について触れたが、紙面の都合、説明不足の面が多々あると思う。詳細については、また別の機会に説明したい。まだまだ染色機械開発のテーマと課題は多い。これからも業界に貢献できる機械開発を行ってきたい。

滝川 正夫 (たきがわ まさお)

1972年、福井大学工学部繊維染学科(現生物応用化学科)卒業、(株)日阪製作所入社し、染色仕上機部設計開発課で染色機や加工システムの開発に従事。現在、工場統合により生産機器事業本部設計開発部課長。

今月号は3月号に引き続き「染色加工装置の省エネ動向(その2)」を特集しました。
(その1)、(その2)とも染色加工研究会運営委員会により企画されました。運営委員会のメンバーは次の通りです。

委員長 改森道信、副委員長 金子隆英、峯村勲弘、運営委員 安倍俊三、伊藤 博、今田邦彦、上甲恭平、
滝川正夫、森本國宏

新刊

技術者倫理—法と倫理のガイドライン

(社)日本技術士会プロジェクトチーム技術者倫理研究会

A5判, 70頁, 定価1,500円

NPO法人科学技術倫理フォーラム編, 丸善(株)刊

杉本泰治, 田中秀和, 橋本義平 著

本書は企業などで実務に従事する人を対象とする技術者倫理の学習についての提案である。倫理の学習には、知識の学習と意識への定着という二つの要素がある。しかし、倫理とは、わかりやすく人に優しい等身大のものと知ることではないだろうか。そのことを前提にすれば、短時間での効率的な学習が期待できる。そのような構想で解説されたテキストである。

新刊

技術とコンプライアンス

(社)日本技術士会プロジェクトチーム技術者倫理研究会

A5判, 70頁, 定価1,500円

NPO法人科学技術倫理フォーラム編, 丸善(株)刊

杉本泰治 著

本書は原子力業の事例を用いて、行政庁と事業者の関係を分析している。それにより、社会的信頼を失う原因となったコンプライアンス違反には、規制行政の在り方が関係していることが浮かび上がる。そして、比較的新しい法律である行政手続法が民主国としての規制行政に重要な意義を持つことがわかってくる。規制行政、規制法令の原理や仕組みについて解説している。