省エネルギー染色加工*

ーポリエステル繊維の染色加工を
中心として

山 田 与志夫**

1. まえがき

低廉な電力、潤沢で良質の用水と安価で豊富な石油に支えられていた日本の染色加工はオイル ショック以来、大きな転換を余儀なくされることになった。

オイル ショックにより石油の価格は急騰し、現在、染色加工工業で使用されている重油の価格はオイル ショック直前に比べると4倍近くになっている。また、染色加工の総費用に占める燃料費の割合は当社の場合5%（オイル ショック直前）から10%（51年12月現在）まで上昇しており、染料の占める割合に匹敵するようになった。このようなことから、染色加工におけるエネルギーの節減が公害、節水と並んで重要な問題となっている。

ちなみに、ポリエステル加工糸繊維物の浸染におけるエネルギー コストの割合および水の消費を工程別にみると、表1のようであり、エネルギーの消費量のもっとも多いのは染色の前処理工程であり、全体の約50%を占めている。また各工程を乾燥、洗浄、リラックス、染色、熱処理の機能別に分けてエネルギー コストを比較してみると、乾燥および熱処理工程がもっともエネルギーを多く消費し、染色で消費されるのは比較的少ない。

~~~~~
* Conserving Energy in Dyeing Process.
** Y, Yamada, セレーン 技術部

したがって、染色加工の全体のエネルギー節減を考えるうえには、染色加工そのもののほかに、乾燥、熱処理などのエネルギー節減も重要であることがわかる。

染色加工における省エネルギーに関しては、いくつかの総説があるが¹⁾、ここでは染色加工全般におけるエネルギーの節減について触れたのち、特にポリエステル繊維の省エネルギー染色法について述べる。

表1 吸尽染色におけるエネルギーおよび水の消費量※

工 程	エネルギー コスト (%)	水の消費量 (ℓ/m)
前 処 理	54	16.8
リラックス	18	3.8
精 練	10	7.4
乾 燥	13	5.6
プレセット	13	—
染 色	10	43.0
後 処 理	9	8.4
仕 上	27	3.6
乾 燥	13	
最終セット	13	

注) ※ ポリエステル加工糸繊維物の高压染色

2. 染色加工全般における省エネルギー化

佐田は省エネルギーを推進するための要素として省エネルギー技術者の育成、省エネルギー教育、省エネルギー技術をあげ、省エネルギーを達成するにはこれらのバランスをとることが必要であると述べている。

染色加工は多くの複雑な工程から成立っているが、その目的は被染物を着色し、所望の機能を付与することに帰着する。したがって、その目的を達成するためには、必要かつ最少のプロセスを全体的な立場から設計することが必要となってくる。ここで述べる省エネルギー対策も当然この原則に基づいて考えられるべきものである。

2.1 無駄エネルギーの排除

まず最初に行うべきことは無駄に消費されているエネルギーをなくすことである。これは作業者にエネルギーの価値を認識させ、エネルギー管理の改善をさせることであり、これを徹底することによって新規の大きな設備投資をすることなくして、（たとえば、照明の節減、冷暖房の適正使用、過乾燥の防止、機械の適性使用、蒸気漏れの改善、工程の省略など）10～20%程度のエネルギーの節減ができるものとする。

2.2 排エネルギーの再利用

高压染色機の熱交換器のドレンおよび冷却水を完全に回収して再利用すると約50% ヒート セットの排熱風を

完全に回収すると約50%のエネルギー節減になることが計算される。

染色加工で排出されている温排水には清浄なもの（たとえばドレン水、冷却水）と汚れたものがあり、前者はそのまま再利用でき、後者は熱交換器によって熱を回収することができる。熱交換器の種類としてはコイル式(蛇管式)、多管円筒式(シェルアンドチューブ式)、二重管式、渦巻式(スパイラル式)などがあるが、性能、価格、据付、保守点検の面からみて、プレート式が最も優れているといわれている。³⁾ 連続染色後の洗浄装置でその排水の熱回収で清浄水を予熱して用いた場合、回収により節約できる重油は年270 tonで投資金額は3～4か月で償却できた例もある。⁴⁾

排熱風の回収も熱交換器によって行いが、用いられる熱交換器は基本的に次の二つに分類される。⁵⁾

- 「空気－水」式交換器
- 「空気－空気」式交換器

「空気－水」式交換器は「空気－空気」式交換器より小型であるが、回収して得られた熱水の活用性に問題があり一般にはあまり用いられていないようだ。「空気－空気」式交換器の種類をタイプ別に分けると次のようなものがある。

- ・標準的なチューブ タイプ熱交換器
- ・ロータリ型または熱ホイール型熱交換器
- ・ヒート パイプ式熱交換器
- ・Therm' O' Fluidを利用したチューブ タイプ熱交換器

その他に、排熱風を再燃焼して利用する方法もあり、この場合には排風中に含まれているオイルその他の可燃性物質は完全に燃焼するため、排気公害の面からもメリットがある。ヒート パイプ式熱交換器によりテナの排熱を回収すると、年間500万円の節減ができるという例もある。⁶⁾ Squireは染色加工における排水および排熱風からの熱エネルギーの回収プロセスについて詳しく報告している。⁷⁾

2.3 省エネルギー染色加工プロセス

染色加工の各工程の省エネルギー化を進める上での基本的な考え方としては、大きく次のように分けられる。

- a) 使用媒体（たとえば水）の量を少なくする。
- b) 気化熱および比熱の小さい媒体（たとえばパークロルエチレン）を用いる。
- c) エネルギーの損失を少なくする。
- d) 染色加工の処理温度を下げる。
- e) 適した種類のエネルギーを使用する。

これらの基本的な考え方に基づいてポリエステル繊維の染色加工の各工程を省エネルギー化する方法を図1にまとめてみた。

図1 ポリエステル繊維編物の染色加工における省エネルギー化

a), b), c), d)を基本とした方法は精練、洗浄の分野で応用されている。また、染色での応用例は後で詳しく述べる。e)は見掛け上は高価なエネルギー源もそれぞれの工程に適切な使用法を考えればエネルギーの節減になることが期待できることを意味している。たとえば、アクリル酸モノマをグラフト重合させてポリエステル繊維に親水性を付与する改質加工において用いられるエネルギーを種類別に分け、コスト比較をしてみると表2のよ

表2 織物の仕上げ加工に必要なエネルギー⁷⁾

装 置	エネルギー消費量	エネルギー コスト
電 子 線 加 速 機 250 000ドル	1～5メガラド 8～40KW	5～24セント/hr
紫 外 線 50～100 000ドル	100KW	60セント/hr
キュアリング オープン 50 000ドル	1.5×10 ⁶ Btu/hr 440KW	1.00ドル/hr
テ ン タ 250 000ドル	3～6×10 ⁶ Btu/hr 880～1 760KW	2～4ドル/hr

注) 8 オンス/平方ヤード, 60 in 幅

うな結果となる。⁷⁾ すなわち、このような加工ではエネルギー源として電子線を用いるのがもっとも安くつくことがわかる。また、熱源として合成繊維のセットに赤外線輻射加熱方式を採用すると短時間にセットができ、エネルギーの節減になる。図2には赤外線照射によるポリエステル繊維の昇温速度を示した。図からわかるように、ヒータ温度600℃のヒータを用いれば200℃でのセットが3 sec以内で可能であり、通常の熱風では20 sec以上かかることから考えると時間短縮と同時にエネルギーコストもかなり安くなる。⁸⁾

以上述べてきたことをもとに、省水および省エネルギー

図2 赤外線（ソーラ ヒータ）によるポリエステル
の昇温カーブ
（—— 赤外線，-----200℃熱風，照射距離50mm）

のための染色加工プロセスを考えてみると、1) 徹底した節水プロセス、2) 溶剤プロセスと3)、1)と2)の組み合わせのプロセスになる。たとえば、ポリエステル繊維の分散染料による染色加工の場合には、図3に示したような溶剤系を中心とした連続の完全クローズド システムを考えることができる。

図3 分散染料によるポリエステル繊維の省水、
省エネルギー染色加工プロセスの一例

このようなプロセスでは、電気、水、蒸気および溶剤の消費も含めてランニング コストは現状のプロセスの50%以下になる。

参考までに、パークロルエチレンを用いる現在の溶剤加工技術では溶剤の損失が加工生地重量の1～2%あり、溶剤の作業環境濃度を10 ppm以下にできているが、今後、さらに改善する必要がある。

3. 最近の省エネルギー染色法

染色とは被染物に染料を付着させ、付着した染料を繊維内部に拡散固着させ、均一に染着させることからなっている。この原理とすでに述べた省エネルギー化の基本的考え方に基づいて、染色を考えると、低浴比化、低Add On化、ラピッド化、溶剤化、気相化などの省エネルギーのための手段がある。

3.1 低浴比染色

A. サンコワッド（Sancowad）染色

サンコワッド染色は界面活性剤による超微粒気泡を利用することによってきわめて少量の水（浴比1：1）の中で染料を均一に分布させたのち、昇温して繊維に固着する方法であり、アクアルフト（Aqualuft）法ともいわれている。この場合、染料は被染物に分布している段階では繊維に対して親和性や直接性を示さないものを選択することが肝要である。⁹⁾

染色装置としてはジェット染色機が布地の搬送および染料の付与の点で適している。特にGaston County社のジェット染色機が改良されて用いられている。機械の特徴は、ベンチュリで布地に染液を吹付けると同時に脱液を行う点である。また、染色の初期の段階、つまり染料の分布および起泡形成時における染液温度を38℃以下に保持できるように熱交換器で調整している。また起泡剤を用いているために、染色において脱脂効果、すなわち精練効果も同時に得られる。⁹⁾

このようにして浴比1：1で行うことにより、精練、洗浄も含めてエネルギー コストを約65%節減できる。しかし、このような低浴比では染料の追加による色の修正において むらが発生し、実用上の染色が困難であることも明らかとなった。そこで最近、Gaston County社において浴比を高くし、1：5にて染色するためのアクアルフト染色装置を開発し、6ループの布染用高圧染色機が完成したといわれている。

ポリエステル繊維をアクアルフト法で高圧染色した場合の水、蒸気、電気の使用量とそれらの節減率を従来法と比較すると表3のようであり、水について70%、蒸気について50%の節減が可能となる。

B. その他の低浴比染色

サンコワッド法染色に限らず染色は低浴比に移行しつつあり、各染色機械メーカーとも機械の開発に力を入れている。ITMA'75に出品された吸尽染色法による各社の染色機にはその努力がみられた。なかでも、Thies社のR-Jet 140は高温で浴比1：6、布速度は最高450

表3 アクアルフト法および通常の高圧染色におけるエネルギーおよび水の消費量

	消 費 量		節減率 (%)
	アクアルフト染色	ジェット染色**	
水	2.0ガロン/ポンド	7.0ガロン/ポンド	70
蒸 気	0.76ポンド/ポンド	1.5ポンド/ポンド	50
電 気	0.13キロワット/ポンド	0.13キロワット/ポンド	0
トータル(Total)浴比※	1 : 17	1 : 75	—

注) ※ 染色および洗浄を含む浴比, ** Gaston County社のジェット染色機

m/minといわれている。また、Thies社の情報によれば、蒸気のコストが普通の染色（浴比1：18）の約80%、助剤および染料コストが20%節減できるといわれている。

その他に、新しい方法として、ミスト法を用いる浴比1：1.5～1：2.5の染色法も報告されているが、布染には適当でないともいわれている。¹⁰⁾

3.2 ラピッド染色

これは従来の染色に比べ染色時間を30～40%程度に短縮したものであり、その他に、時間短縮による熱損失の減少および低浴比化によるエネルギーの節減効果もかなりある。

従来は染色の初期段階に多少不均染が生じて、マイグレーションによってこれを改良すればよいとされていた。これに対し、ラピッド染色においては不均染にならないように染色速度を設定し、マイグレーションのための時間を短くし、全体として染色時間を短縮するという考え方になっている。

ラピッド化の進め方としては、時間の短縮のための機械的な改良と均染をうためのハードおよびソフトウェアの開発が必要となる。すなわち次のようなことが必要である。

時間短縮 { 染色（昇温、保持、降温）時間の短縮
布投入、取り出し、給排水工程の合理化
低浴比化

均 染 化 { 布のスピードを速くする→布と染液との接触回数を増す
（通常の3倍）
染色循環回数を多くする→染料濃度の均一化、温度の均一化
（通常の2倍）

さらに、均染をうための染色曲線を設定する必要があるが、求め方についてはいくつかの報告があるのでそれらを参照されたい。¹¹⁾

ポリエステル加工糸織物のラピッド染色の場合の省エネルギー効果について、従来の液浴染色機と比較すると表4のようでありポリエステル加工糸のチーズ染色でえられているほどの効果はえられなかった。

3.3 連続染色

パッディング染色は、通常、浴比が1：1以下であるため、水の消費量が少なく、非公害および省エネルギー面からの効果が期待できそうである。

峯村はポリエステル加工糸織物のラピッド液流染色と連続染色のコスト比較を行なっている。¹²⁾ その結果によると、連続染色にした場合の省エネルギー面での効果は表わ

表4 従来型機とラピッド型機との生産コスト比較

	従 来 機		ラ ピ ッ ド 機		節減率
	必 要 量	金 額	必 要 量	金 額	
設 備	20台	20 000万円	8台	19 200万円	
生 産 量	90万メートル		96万メートル		
償 却 費		773万円/月		742万円/月	4%減
労 務 費	5人×3シフト	357万円/月	4人×3シフト	286万円/月	20%減
エ 電 気	205円/バッチ	37万円/月	255円/バッチ	49万円/月	32%増
蒸 気	2 020円/バッチ	364万円/月	1 271円/バッチ	244万円/月	33%減
小 計		401万円/月		293万円/月	27%減
水	23トン/バッチ	207万円/月	28トン/バッチ	269万円/月	30%増
		1 738万円/月		1 590万円/月	9%減

注) ポリエステル加工糸織物の高圧染色

れていない。これはパッディング染色においては、パッディング後の乾燥に多くのエネルギーが消費されるためであり、それに比べて固着に使用されるエネルギーは少ない。

連続染色は付着の方法と固着の方法の組合せで、各種の染色プロセスが組立てられ¹³⁾、峯村はその詳細について解説している¹²⁾。しかし、省エネルギー染色の立場からは付着工程における低アッドオン(Add On)化または次に述べる溶剤化などを考える必要がある。また、固着工程は、乾燥を必要としない方法またはできるだけ低温度で固着する方法などを採用することが望ましい。

3.4 溶剤染色

非公害および省資源の面から、染色加工の非水系化は長い間注目されてきた。精練についてはニットの分野を中心に、欧米でかなり普及し、その地位を確保しつつあるが、染色においてはまだ実用化に至らない。特に吸尽染色については染料メーカ、機械メーカとも研究をかなり縮小したといわれている。

参考までに、水とパークロルエチレン(PCE)の物性を比較してみると、蒸発潜熱については前者は539 cal/g、後者は50 cal/g、また、比熱は前者が1.0 cal/g・degに対し、後者は0.21 cal/g・degとかなり低い。その他に、表面張力は水が72.8 dyn/cm(at 20℃)に対し、パークロルエチレンは32.0 dyn/cm(at 20℃)であり、すぐれた特徴をもっている。

溶剤染色の中でもっとも有望な方法は溶剤パッディングによる連続染色であると思われる。なぜなら、染料の改質は多分不用であり、溶剤の回収は乾燥工程で行なわれ、この回収を困難にするような添加物はあまり必要としないからである。水系のパッディング式連続染色は乾燥にエネルギーを多く要するために省エネルギー効果が少なくなるが、溶剤系を採用すればこの目的は十分達成できる。

溶剤による連続染色の場合の付着方法をまとめると表5のようである。

溶剤パッディング法の場合は原末染料を用い、分散がよいため、発色率が水系のパッディングに比べてよくなるが、マイグレーションが大きいなどの問題もある¹⁴⁾。固着工程にパークロルエチレンの蒸気を用いると効果があ

るといわれているが、ポリエステル繊維の場合吸着したパークロルエチレンの脱着に多くのエネルギーを必要とするため、省エネルギー面からは望ましくない。

最近、ヘメゾール法(Hemesol Process)と称するスプレ法による非水系の染色、仕上の完全クローズドプロセスも開発されている¹⁵⁾。

長谷川はポリエステルジャージの精練におけるエネルギーの消費量を水系、溶剤系において比較し、溶剤の損失も含めて、ランニングコストが溶剤系は水系の約半分であるとしている¹⁶⁾。

溶剤系染色加工プロセスを開発する手順は通常的水系染色加工プロセスを開発する手順と基本的には変わらないが、溶剤のもつ長所短所を十分把握したうえでの進め方が大切であり、最終的にはテクノロジーアセスメントを行なって十分なる効果が得られているかどうかを評価することが必要である。溶剤化を進める上での留意点を図4にまとめておく。

図4 溶剤染色加工プロセスの開発における留意点

4. あとがき

染色加工における省エネルギー化の重要性と、省エネルギー化の方法について述べ、特にプロセス全体を通してエ

表5 溶剤系パッディング法

系	媒 体	染 料	助 剤
エ コ ル ジ ョ ン	水/パークロルエチレン	通常分散染料	乳 化 剤
溶 液	パークロルエチレン	原 末 染 料	可 溶 化 剤 糊 剤
分 散	パークロルエチレン	ミ ク ロ 分 散 化 染 料	糊 剤

エネルギーの意義を考えることが大切であることを指摘してきた。

現在、染色加工業は繊維市況の悪化と原材料の高騰の中で苦境に陥っている。その中であって省エネルギー化を進めていくことは並大抵なことではないが、反面、よい機会であるともいえる。

今まで述べてきた事柄が今後の染色加工における省エネルギーを考える上で少しでも参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) たとえば、松井; 繊維工学, **28**, 129 (1975)
- 2) 佐田; 熱管理と公害, **27**, 10 (1975-7)
- 3) 吉田; 加工技術, **11**, 299 (1976)
- 4) 日下部; 繊維機械学会, 講演会テキスト, p. 21, (1976-5)

- 5) N. R. Belton; Amer. Dyest. Rep., **63**, 66 (1974)
- 6) 平野金属㈱; 技術資料 (1976)
- 7) Text. Ind., p. 99 (1975)
- 8) 大和機械㈱; 技術資料, No. 1, p. 4 (1976)
- 9) Sandz News; No. 13, p. 26 (1975)
- 10) 日本チバガイギー; 加工技術, **11**, 722 (1976)
- 11) たとえば、今田; 加工技術, **11**, 709 (1976)
- 12) 峯村; 加工技術, **11**, 261 (1976)
- 13) 吉川; 加工技術, **10**, 16 (1975-1)
- 14) M. Capponi 他; Textilver., **6**, 3 (1971)
- 15) Temple Machinery Co.; 技術資料 (1975)
- 16) 長谷川; TDS, No. 79, p. 42 (1974)
- 17) D. H. Squire; J. Soc. Dyers Col., **92**, 109 (1976)

書 評

転写捺染の知識と実際

相原・伏原・沢渡 編

発行所 繊維技術研究社

昭和51年8月28日発行, 85頁

本書は昇華転写捺染および転写紙製造の技法と機械とを中心に述べ、他の転写捺染にもふれている。

第1章の「転写捺染とは」、第2章の「昇華転写捺染のあらまし」において転写捺染の概要、特徴、機構および捺染物の堅ろう度などを述べた後、種々の資料にもとづく現状分析と将来への展望に言及している。

第3章の「転写紙はどのようにしてつくられるか」では、製版法、印刷機およびインキの組成について実際の見地より詳述している。

第4章の「昇華転写捺染機について」では、平圧プレス機および連続式転写機の各機種についての性能および操作上の特徴が詳細に述べられている。また広範囲の機種の性能が一覧表示されている。

第5章の「昇華転写捺染の実際」においては、生地および転写紙の準備から捺染操作の実際、バックペーパーの利用、捺染操作と直接関係しない諸問題、たとえば検反、廃紙処理、機械保全などにも言及している。

第6章の「転写捺染法いろいろ」では、湿式、顔料式、真空昇華式などの転写捺染のほか、アクリル繊維、もめんおよび羊毛などの転写捺染法にもふれている。またパッチワーク転写捺染、転写ぼろし捺染、手がきによる転写捺染などにも言及していて興味深い。

以上、第1～第3章および第6章は相原次郎氏、第4および第5章は伏原武夫氏が執筆されている。なお第7章は8氏によって種々の観点から転写捺染について随想風に論評されているが、それぞれ考え方も異なり、非常に興味深く読ませている。

以上の内容からも分るように、転写捺染を実際上の問題としてとらえ、それぞれの問題に有益な指針を与えている。

ただ読み上げて感じることは、天然繊維およびその混紡・交織品の転写捺染の成否が転写捺染の将来を大きく左右するのではなからうかと。

(京都工芸繊維大学 橋本 勇)