省エネルギーからみた紙加工

王子製紙㈱ 高 橋 昭之介

Paper Conversion from Energy Saving Viewpoint

Shonosuke Takahashi

Oji Paper Co., Ltd.

Of total energy requirements in the manufacture of converted papers, that for raw materials have been progressively reduced by developing and substituting less energy intensive materials for conventional ones and by reducing substance used per unit area of paper, the latter being coinciding with increasing demands for lighter-weight papers in various applications.

A remarkable feature in the effort to save conversion process energy, which is found commonly in variety of conversion areas, is the trend towards higher solids or even solventless applications, as evidenced by high solids pigment coating for printing-grade coated papers, high solids laminating adhesive coating, hot melt adhesive coating, solventless silicone release coating, etc. Another aspect of the energy saving effort covers the improvement of overall process efficiency by minimizing the number of processing steps and optimizing each of them.

Energy saving approach in paper conversion also takes the design of paper quality into consideration. Recent search for greater efficiencies in paper-using service systems, which in many cases mean to serve energy saving, requires specific paper qualities to be provided by special conversion technology.

1. 結 言

紙加工の目的は塗工、含浸、貼合などの加工プロセスを通じて原紙に「加工物質」と「エネルギー」を付加し、それぞれの加工紙が使用される用途に必要な特別の機能に転化することにある。加工紙の種類は著しく多岐にわたり、加工の型や条件も千差万別であるが、今これを省エネルギーという立場からみると、色々の分野の技術努力は共通した問題認識に基づいて進められていることがわかる。この報告では顔料塗工、機能塗工、ポリマー貼合、情報記録加工など幾つかの分野での省エネルギーの技術動向を、図1に示したような3つの側面について考察してみたい。

2. 加工紙用途の省エネルギーと加工紙設計

加工紙が用いられる様々の用途において、エネルギー

図1 加工紙の省エネルギー

一節減の綿密な技術努力が進められており、その結果加工紙品質への要求が大幅に変化してきた例も珍しく

ない。今後もこれらの用途面の変化は、加工紙の設計に重要な影響を及ぼすこととなろう。省エネルギーの手段、方向は用途分野によって異なり、加工紙設計の対応も一様ではないが、ここではその二、三の例をあげて考察してみたい。

情報記録分野の省エネルギーは、目的とする記録機能を低下することなく消費電力をいかに少なくするかにかかっている。この分野で最も普及している複写機の省エネルギーが先駆的に研究され、ここで開発された技術がファクシミリやプリンターの記録技術にも応用されている。そこで複写機の省エネルギーを例として述べると、日本の電力事情から消費電力を 1.5 kW 以下におさえることが要望されているが、電力消費が最も大きいのは現像剤の定着工程で、これをいかに少なくするかが最大のポイントとなっている。複写機の各種の定着方式の中、熱ローラ方式や熱板方式などの熱定着法は複写の高速化に有利で、定着性も優れていることから、従来高速機から低速機にまで幅広く採用されている。しかし、これらの方式では熱ローラや熱板の表面温度を 150~200℃ に保つ必要があり、そのために所要電力は低速機でも 500 W 以上、高速機では 2,000 W も必要となる。そこで最近省エネルギー定着方式としても注目されているのが、非加熱の圧力定着方式である。この方式に用いるトナーは圧力感応性物質（パラフィン、ワックス、ゴム状軟質重合体など）からなり、トナーに圧力（20~40 kg/cm）を加えることによって粘度を低下させ、用紙の構造内に入りこませて定着させる。圧力定着方式では消費電力が 250~300 W と大幅に減少すること以外に、熱定着方式における熱の影響から派生する多くの問題（アクセスタイム、機内温度上昇による用紙の品質変動、装置の断熱配慮~機器コスト、火災の危険性など）が解決されている。しかし、圧力定着方式は熱定着方式に比べてトナーの定着が不十分となりやすい欠点があり、この点を装置、トナー及び記録用紙の面から総合的に改善すべく技術検討が進められている。記録用紙の定着性改善の要点は、トナーの投^{びよう}、埋没、粘着性付与、化学的親和力付与、融着などの効果をいかに組合わせ、有効に発現するかであり、圧力定着型の転写紙（PPC）、静電記録紙、電子写真紙などについて最近多くの特許があらわれている。複写機の省エネルギーについては上述の定着工程に加えて、露光工程とクリーニング工程の改善も進められており、これらの技術開発は更にプリンターやファクシミリなどの情報記録の広い分野に拡大されつつある。

上述の例について加工紙の用途面の省エネルギーが

展開されるパターンを図 2 に示したが、これから分かるようにまず加工紙用途のプロセスの改善が先行し、その目的にかなうように装置、材料、用紙の総合的な設計改善がきめ細かく進められる所にその特徴がある。加工紙の用途は多種多様であり、省エネルギーの要点も用途ごとに異なっている。例えば、写真印画紙の分野では現像、水洗工程の吸水を最少化し、従来のフェロタイプ乾燥を省略して乾燥工程を大幅に短縮できる RC 紙が従来のバライタ紙を置換して伸びており、サービスの迅速化と併せて省エネルギーに役立っている。また印刷分野では、特に加熱乾燥方式を用いる輪転オフセット印刷などで印刷インキの処方面から乾燥温度を低下する方向に改善が進められつつあり、印刷用紙についてはできるだけ少ないインキ量で良好な印刷効果を発現することが重要となっている。このように今後の加工紙の設計においては、それぞれの用途面で省エネルギーの要点を適確に把握し、その要求を満たすための新技術を開発してゆくことが重要である。

3. 加工紙製造の省エネルギー

3.1 加工紙構成原料の省エネルギー

一般に加工紙製造の省エネルギーは、加工紙を構成する原料のエネルギー消費量の総和を最少化することと、加工プロセスのエネルギー消費を最少化することの 2 つの命題に分けて考えることができる。

加工紙の単位面積（あるいは単位重量）あたりに投入される構成原料エネルギー消費量の総和を最少化するためには、①加工紙構成原料の投入量自体の減少（軽量化）と、②よりエネルギー消費量の少ない原料への転換（原料置換）の、2 つの内容の技術努力が必要である。

印刷用塗工紙については、これらの技術開発は製品の需要動向と密接に連動して進められている。第 1 点の軽量化の動向は周知のように雑誌用紙としての LWC（軽量塗工紙）の需要急増にあらわれている。近年特に欧米において、カラーテレビのレート高騰と最大の購買層（職業婦人）をキャッチする時間帯をとれないことから雑誌広告が見直され、①最大購買層に届きやすく、②伝達できる宣伝情報量が多いの 2 要素から有利に競合できると判断されて、1976 年頃以来雑誌広告が見直されてきた。この用途に求められる良好な印刷効果、不透明性と、高騰する郵便料金を節減するための重量軽減とを併せて実現するものとして、LWC が非塗工紙と置換しつつ伸び、それと同時に現在市販されている坪量（34~40 lb/3,300 ft²）から更に軽量化したもの（30~32 lb/3,300 ft²）の試作も行われてい

〔例〕複写機等の現像工程

図 2 加工紙の用途面の省エネルギー

る。これらは印刷情報伝達媒体として単位面積あたりのエネルギーコンテンツを最少化する方向と一致している。注目されるのは雑誌用紙のみでなく、比較的坪量の高い高級塗工紙にも軽量化についての同様の価値判断が生まれていることである。この背景から高級塗工紙の合理化された製造法として blade-on-blade coating が再び脚光を浴び、最近 Haindl 社 (西独) Walsum 工場での設備転換例が紹介されている¹⁾。Blade-on-blade coating の利点としては、①1 st.-2 nd. 塗工層間のバリアー層の形成→インキ浸透抑制、インキ量節減、乾燥エネルギー節減、②平滑、均一なベース塗工→薄く均一な厚みのトップブレード塗膜の形成→印刷インキの均一保持、及びこれらの結果として③印刷不透明性の改善があげられている。特に約10%少ないインキ量で同等の印刷光度が発現され、その結果印刷

機での乾燥負荷が軽減されると唱えられていることは、今後の塗工技術の進路を示すものとして興味深い。次に第2点の原料置換(→エネルギー消費量の少ない原料)の問題については、まず顔料塗工自体が印刷用紙製造における省エネルギーの手段であり得ることに注目する必要がある。一例として C. M. Hein (Northwest Paper Division, Potlatch Corp.) は、塗工紙と非塗工紙の工業生産におけるエネルギー消費の比較を示している²⁾。この工場は漂白クラフト法の一貫プロセスにより、年間25万 t の塗工及び非塗工印刷・筆記用紙を生産しているが、同一米坪、同一白色度の紙について比較の結果、塗工紙の生産は非塗工紙の生産よりも全エネルギー消費量が5~12%少ないことを示しており、この結論を一般化することは尚早としても、興味ある解析として注目される。更にこの顔料塗工の

成分について一層のエネルギー節減が探究されているが、中でも注目されるのは塗料の主原料である顔料のエネルギー・コストの問題で、特に顔料供給形態を粉体あるいはスラリーとすることの経済性分析に関心が集っている。F. C. Bacon³⁾ は clay, TiO₂ 及び CaCO₃ について粉体とスラリーの製造工程におけるプロセスエネルギーを比較しているがその結果によると clay と CaCO₃ についてスラリー化が省エネルギーの方向と一致し、特に湿式粉砕 CaCO₃ スラリーはエネルギーの節減効果が大きく、高濃度塗工への適性と併せて今後の最も有望な塗工顔料といえるが、できるだけ高濃度のスラリーを効果的に調製する方法の開発が重要である。塗料のエネルギー節減についてはこのほかにも種々の要素が検討され、後述の塗料調製、塗工工程の合理化の成果と併せて、塗工比率の増大が省エネルギーにつながる条件が整備されつつある。

印刷用塗工紙について上述のように軽量化や高率塗工化を実現してゆくための基本的条件として、原紙の改質が重要な役割を演ずることとなろう。J. T. Loomer⁴⁾ は今後の塗工紙製造技術の課題は塗工以上に原紙抄造の変革にあると予測しているが、その考え方の重要な骨組はパルプリファイニングを軽減ないし省略し、プレッシングを軽減し、サイズプレス処理を省略し、他の方法で繊維間結合を発現することにより「結合強度の強い high-bulk paper matrix」を構成することにある。この思想と最近開発されている「press drying」とを組み合わせることは、今後の可能性の一つとして興味があろう。Press drying⁵⁾ は 1975 年以来米国 Forest Product Laboratory において開発された新しい概念で、「温度を 100℃ 以上に保ちつつ湿紙に外圧を作用せしめる乾燥プロセス」と定義されるが、塗工原紙への応用について特に関心を引くのは、叩解を大幅に軽減した条件で強度を発現でき、上述の原紙要件の一部を満す方法と考えられる点にある。

上記は印刷用塗工紙を例として「軽量化」と「エネルギー消費量の少ない原料への置換」を軸とする加工紙構成原料の省エネルギーの幾つかの側面を考察した。この基本的な方向は他の加工紙分野でも共通であるが、開発される技術はそれぞれ異なる。ポリマー・ラミネーションの分野での co-extrusion 技術もそのような技術の 1 つである。各種ポリマーのフィルムの性能は、単独フィルム (unsupported film) の状態よりも他の基材上に塗布した場合の方が効率よく発現され、例えば PVdc の単独フィルムで有用なバリアー性を得るに

1. 塗工の高濃度化～無溶剤化

(E X.) シリコン離型剤・・・無溶剤塗工	
粘着剤・・・ホットメルト塗工	
貼合用接着剤・・・高濃度化～無溶剤化	
顔料塗工・・・高濃度化	

2. 加工工程の合理化

① 加工工程数の減少

- ・同時化 (異った機能の加工を 1 つの工程におこむ)
(例) ポリマーの Co-extrusion
- ・インライン化
(例) 粘着紙加工の剝離剤塗工、粘着剤塗工、上葉紙予備処理、ラミネーション
- ・技術改善による特定の工程の省略
(例) 塗工紙原紙のサイズプレス処理省略

② 各工程の改善

図 3 加工工程の省エネルギー

は 30~40 g/m² が必要であるが、ポリエチレン塗工紙のような支持体の上に塗工する場合には 10 g/m² 以下で同等の性能が発現される。Multiple die を用いて 2 種以上のポリマーをワンパスで塗工できる co-extrusion では、単にポリマーの特性を組合わせて相補うこと (例えば PE のヒートシール性と Nylon の強度など) 以外に、上述の機構によってポリマーの節約 (軽量化) が可能であり⁶⁾、工程数の減少と併せて省エネルギーに役立つ。また他の例としては、エネルギー消費の非常に大きいアルミニウムの使用量を大幅に節減する技術として、真空蒸着法の進歩によるアルミ貼合紙からアルミ蒸着紙への転換⁷⁾ があげられる。アルミはくは外観の向上やバリアー性 (水蒸気、ガス、油、光、等) の付与を目的として貼合紙として広く用いられており、その厚さは用途によるが一般に 6~7 μm 以上は必要とされている。これらアルミはくの各種用途の中、外観を重視する宣伝印刷用、ラベル、シール用などの用途からアルミ蒸着紙 (アルミニウム厚さ 0.1 μm 以下) が導入されつつあり、包装用途への導入も指向されつつある。このような新しい技術による合理化は、多種多様な加工紙のそれぞれの分野で今後更にきめ細かく開発されてゆくであろう。

3.2 加工工程のエネルギー投入量の減少

加工工程で投入されるエネルギーの内容は、少なくとも定性的には「本質的に加工紙構造の中に組み入れられて機能に転化される部分」と、「単に加工紙への加工物質の運搬、導入に消費されるキャリアーとしての性格の部分」に分けて考えることができ、後者を最少化することが、即紙加工におけるエネルギー効率の

最大化を意味していると言える。

加工紙各分野の技術動向を調べると、加工工程の省エネルギー努力は主に①塗工の高濃度化～無溶剤化、及び②加工工程の合理化の2つの方向に向けられていることがわかる。また、これらは単にエネルギー節減の観点からだけではなく、生産性の向上、原価低減、工程管理の改善、環境改善など総合的な合理化と連動して進められている点が注目される。

第1点の「高濃度化～無溶剤化」は、ほとんどどの加工紙分野についても共通の目標としてとりあげられており、それぞれ個々の技術開発がなされている。その中でもシリコン離型剤や粘着剤については、特に米国において安全、衛生上の溶剤揮散の法規制への適応が推進力としてはたらき、既に1960年代後半から研究がはじめられ、1974年頃以降工業化の例があらわれている。シリコン離型剤は周知のように従来5～7%の有機溶剤塗工（トルエン、ヘプタンなど）が行われているが、厳格な溶剤排出規制に適合するための候補として、Dow Corning社は1973年頃からエマルジョン（水系）処方⁹⁾と100%無溶剤シリコン処方の両様の処方を紹介している。しかし、エマルジョン処方は性能が不十分なことから、しわ、カールなどの問題を生じやすいことから、無溶剤シリコン処方への切替に関心が集り、工業化の例もあらわれているが⁹⁾、これがその後益々重要となってきたエネルギー及び溶剤節減の長期的な解決法として注目され、成果を生みつつある。無溶剤シリコンの組成は「官能基を有するpoly-dimethyl siloxane」と「触媒」より成る2成分系である。溶剤塗工法ではドライヤー系内に触媒やその他の硬化促進剤の蓄積が起りやすく、特に400～450°F（214～232°C）の高温を用い、循環系で蒸気がオープン・ガス・フレームを通過する系で状況が悪化しやすいが、無溶剤系では熱分解性の有機金属触媒や加水分解しやすい硬化促進剤を用いないので、堆積は非常に少ない。従って400～500°F（214～260°C）の高温、短時間硬化処理が可能で、例えば40 lb SK紙のシリコン塗工（塗工量0.05 lb/ream）において溶剤系の硬化時間18秒から無溶剤系の2.4秒へと短縮される。紙からの結合水の脱離に最も大きく寄与する要因はドライヤー内のdwell timeであり、無溶剤系では水分脱離を防ぎつつ硬化できる¹⁰⁾。しかし一方、シリコン硬化皮膜の連続性の面から硬化速度の調整が必要であることも示されている¹¹⁾。すなわち硬化皮膜の連続性を良好ならしめるには塗工後の充分なレベリングが必要であるが、そのために塗料粘度と硬化速度の調整が重要である。ポリマー粘度が高過ぎるとレベリ

ングが不充分となり、一方粘度が低下しすぎると基紙への浸透が助長され、いずれも不連続な皮膜が形成されるので、適正な粘度範囲（100～1,000 CPS¹⁰⁾、300 CPS¹¹⁾）へ調節する必要がある。更に塗液の粘度は硬化期間中に急速に変化するので硬化速度もレベリングに重要な影響を有し、初期段階ではレベリングのために硬化を遅くすることが必要で、そのために加熱オープンの適正なゾーニング（低温1 st. zone）によるコントロールが必要と言われている。このように加熱硬化処理の考え方にも幅があるが、いずれにしても無溶剤系のエネルギー必要量は溶剤系よりも大幅に少ないことは確実である。溶剤を蒸発するエネルギーが不要であるため、消費されるエネルギーは基紙とシリコンに吸収される部分、オープンからの輻射ロス、及び排気に伴うロスのみとなるが、オープン内空気に可燃性の溶剤が存在しないために高比率の循環使用が可能であり、排気ロスは少なくおさえられる。シリコン塗工工場において溶剤塗工から無溶剤塗工に変更した場合の燃料費節減の例として、\$58,440/yr→\$8,380/yr¹⁰⁾、あるいは\$63,756/yr→\$5,460/yr¹²⁾の如きデータが報告されている。無溶剤塗工においてはシリコンが基紙表面の空隙を満たすのに溶剤塗工よりも塗工量を増す必要がある。すなわち、再現性のある剥離性を与えるための塗工量は、溶剤系では約0.4 lb/3,000 ft²（0.65 g/m²）であるのに対して0.5～0.7 lb/3,000 ft²（0.81～1.14 g/m²）とされており、樹脂費はやや高くなるが、エネルギー費や公害対策費を加味すると無溶剤系の方が明らかに有利とされている。また、無溶剤系シリコンは溶剤系よりも剥離抵抗が低く、剥離速度の影響をうけずに安定している。無溶剤シリコン塗工の実用化を成功せしめるための鍵は、①剥離性能の設計における制約の排除、及び②100%固形分シリコンの正確な計量・塗工機構の開発の2点にあった。剥離性能については、軽剥離性処方と比較的重い剥離性の処方とを各種の割合でブレンドする方法等により中間の任意の剥離性能を設計する方式⁹⁾が開発されている。しかし、低密度ポリエチレン塗工基紙の上に無溶剤シリコンを塗工すると、ポリエチレンの中の添加剤と反応して硬化が遅れ、プロッキング問題を発生するなど¹³⁾、未だ実用上の制約は残っているようである。一方、計量塗工機構については、前述のような微量の100%シリコンを正確、均一に計量塗工できるか否かに成否がかかっているため、各種の塗工方式の比較と改良検討が進められている^{10)～14)}。現在最も良い塗工法とされているのは、offset gravure coaterであるが、グラビアパターンの修正、リバースドクターの使用、グラビ

アロールとオフセットロールの間の速度差調整 (differential offset gravure coater) など、各種の改良が加えられている。更にこの方式のグラビアロールやドクターの摩耗 (→塗工不均一化) の欠点を除く方式として、グラビアロールを用いない方式の改良も進められている。このように無溶剤シリコン塗工の技術は実用化に向けて改良が進められてきたが、今後は更に紫外線、電子線などを用いる非加熱硬化方式の実用化が進むと予想されている。

粘着剤塗工の分野でも上述と同様の背景から無溶剤方式の開発が進められている。現在主に用いられているのは溶剤系及びエマルジョン系粘着剤であるが¹⁵⁾、ホットメルト型無溶剤粘着剤を用いることによって格段にエネルギーを節減し、生産性を高めることができるので、重要な開発対象となっている。この3方式のエネルギー消費に関する最もはっきりした相違は、①溶剤塗工およびエマルジョン塗工について、それぞれの乾燥オープンに必要な熱空気/液の比率、及び②ホットメルトについて必要な温度の上昇の2要素に関するエネルギー消費の差である。エマルジョン系は溶剤系よりも低い熱空気/液比 (蒸気希釈度) で運転できるので、後者に比してエネルギー消費が少ないが、ホットメルト系ではドライヤーを省けるので更に大幅にエネルギー節減を進めることができる。Shell Development 社の調査結果では、ホットメルト粘着剤の加工エネルギーコストは溶剤系の6%、エマルジョン系の20%とされている¹⁶⁾。また他の解析例では、溶剤 (40% 濃度)、エマルジョン (50% 濃度)、ホットメルト (100% 濃度) の3方式の、熱ロス要素を差引いた特定条件でのエネルギー消費量の比が、100:66.2:2.4と報告されている¹⁷⁾。ホットメルト粘着剤はこれらの利点の反面、以前は使用できるポリマー、樹脂の適切なものがなく、性能の良い粘着剤をつくれないう欠点を有していたが、styrene block copolymer 技術の導入によって新局面が開かれ、更に block polyester も導入された¹⁷⁾。Shell Chemical 社は1965年以来一連の A-B-A block polyndr (Kraton rubber, Kraton G rubber) を市場化しているが、A (end block) はいずれも polystyrene, B (rubber mid block) は Kraton では polybutadiene あるいは polyisoprene ($-C=C-$)、Kraton G では polyolefin ($-C-C-$) で、オゾン、紫外線、高温等への長時間露出時の安定性は後者がまさるとされている¹⁸⁾。また Phillips Petroleum 社は、radial teleblock polymer と呼ぶ一連のホットメルト用エラストマーを市場化している¹⁹⁾。これらのブロックポリマーの特徴は図4に模式的

図4 スチレン・ブロックポリマーの固態2相構造の模式図¹⁸⁾

に示すような固形状態の2相構造に由来している¹⁸⁾。エンドブロックのポリスチレンはミッドブロックのゴム性成分と熱力学的に非相容性であり、固形状態で相分離を起こしている。例えば Kraton G の中のポリスチレンは約30%と微量成分であるので硬いポリスチレン・ドメインはゴム成分の構造の中に分散した不連続相である。ポリスチレンとゴム成分は同一分子内のそれぞれの部分を構成しているので、ポリスチレン・ドメインの大きさはこれに制約され、数百オングストロームに過ぎず、可視光では観察されない。これが各分子の末端を結合して網目構造を構成し、エラストマーとしての物性を発現する。しかし、この結合は加熱あるいは溶解によって一時的に解放することができ、熱可塑性を発現できる。これにミッドブロック・レジジン (ゴム成分と混合出来、エンドブロックには不溶性のレジジン……天然のロジン酸、合成脂肪族レジジン等) を添加すると、ゴム相の割合が大きく増加してゴムの性質が強調され、更にミッドブロック可塑化油 (パラフィン油、ナフテン油、ポリブテン、低分子量のポリイソブチレン等) を加えることにより粘着剤が得られる (必要に応じてエンドブロック・レジジンも配合される)。このような機構によって、①熱可塑性物質として熔融し、適正粘度のホットメルトに調成でき、②室温でははるかに高い分子量の物質であるような物性をあらずという、ユニークな特性が発現されるのであり、この技術開発が精度の良いホットメルトコーターの開発と相俟ってホットメルト粘着剤の工業化推進の基盤となっている。しかしながら、ホットメルト粘着剤には、なお幾つかの問題が残されている。粘着剤の

(ウレタン, アクリル, ポリエステル, ポリエーテル, エポキシ等)

EX. Upaco Adhesives, Inc. ... Colam process

図5 貼合用接着剤の高濃度化, 無溶剤化

性能については永久接着用が最重点に開発, 市場化され, 低温用, 再剥離用粘着剤も開発が進んでいるが, 透明フィルム用粘着剤としてはモットルを生じやすく不十分であり, 高温での強度保持性や耐可塑性性にも欠点があり, 処方自由度は未だ充分でない。塗工作業性についても熔融粘着剤の粘度変動, 汙過困難性, 高温と酸素の組合せ作用による変質(変色, 凝集力低下, 臭気)や, 切替時間が長いためにショートランには不向であること等多数の問題がある。無溶剤系粘着剤の今後の動向としては, 上述のホットメルト粘着剤の一層の改良と, モノマー/オリゴマー・シラップを塗工し, 紫外線または電子線照射によって重合する方法の2つの可能性が考えられている¹⁵⁾。これらの技術開発により, エネルギー消費の少ない粘着剤の実用化が更に拡大されてゆくことが期待される。なお, 貼合用接着剤(laminating adhesive: ウレタン, アクリル, ポリエステル, ポリエーテル, エポキシ等)についても, 従来の20~40%濃度の塗工から50%→70%→100%と高濃度化~無溶剤化の指向がなされており²¹⁾(図5), 紙・板紙の光沢付与剤についても乾燥, 硬化エネルギーの少ない高濃度型の処方が紹介されている²²⁾。

印刷用塗工紙(水系顔料塗工)の高濃度化も生産性向上, 原価低減, エネルギー節減を目的としてかなり

以前から指向されているが, 近年更に関心が高まってきた。顔料塗工の主流をなしているブレード塗工法は, 1960年代に本格的に導入されて以来高生産性で高品質を与える塗工法として高速化と高塗工量を両立せしめる方向にハード面, ソフト面の技術が結集され, それと連動して塗料の高濃度化(50~55%→60~65%)が進められた。更に1978年頃以来65~70%以上の水準の顔料塗工に関心が向けられている。今日の高濃度塗工塗料の設計の原理は, ①顔料の粒子形態の選定(アスペクト比の小さい近球形顔料の導入)と粒度分布の適正化, および②対顔料反応性, 水需要性の低い低粘性接着剤の2要素を組合せた高濃度での高剪断流動性の良い塗料を, ③高濃度で塗工することによって水の移動(原紙への浸透と塗工表面への移動, 蒸発)を最少限にとどめて, 塗膜構造を瞬間的に固定することにある。更に水蒸発に必要なエネルギーの観点からは, 単に塗料濃度を例えば60%→70%と上昇することによって蒸発すべき水の量を約30%減少出来るという意味だけでなく, 上記の方向の塗料処方設計が乾燥工程での水分脱離を容易にする方向と一致している点も注目される所である。この種の処方設計の思想があらわれたのは新しいことではなく, 1973年に S. Wilhelmia 等²³⁾は粒径 2 μ(esd) 以上の近球形粗粒子顔

図 6 塗料接着剤系の発展

料および 1μ 以下の微粒子顔料を組合せた顔料系と、水需要性の低いバインダー成分より調製した塗料を、70~82%の高濃度で塗工する高光沢塗工紙の製造法を示している。しかし、最近のブレード塗工において70%レベルの高濃度塗工が現実の可能性を帯びてきたのは、処方技術と塗工原料の進歩に負う所が大きく、これらを背景として高濃度塗工の新しい研究が展開され、工業規模の実用化も進められてきた。特に *I. Reinbold*²⁴⁾による塗料の SP (solidification point) に影響する要因の解明や、*D. Eklund*²⁵⁾による高濃度塗料の新しい保水性測定法の提唱は、高濃度塗工の新しい概念として重要である。塗工原料については、塗料の接着剤系と顔料系に2つの顕著な動向が認められる。接着剤系は従来の合成接着剤と天然接着剤を組合せる2成分系から、合成接着剤の単一成分系 (single component system) に向っており (図 6)、これには styrene/butadiene copolymers と vinyl acetate copolymer の2つのグループがあり、それぞれ特色を有する。これらの全ラテックス型処方天然接着剤を含む処方よりも水を脱離しやすい性質を有し、この特色を塗料の高濃度化と組合せると乾燥負荷を軽減でき、エネルギー節減に寄与する。顔料系については、粉碎炭酸カルシウムの品質が大幅に改善されてきたのが顕著な動向である。従来の炭酸カルシウムの欠点は、周知のよう

に光沢発現性の劣る点にあった。塗工顔料による塗工面光沢発現性は、顔料粒子の粗さによって塗工面に生ずる“optical step”の函数である。炭酸カルシウム粒子はアスペクト比(直径/厚さ)が約2と低く、且つこの比が非常に細い粒度まで変わらないので、optical step を小さくするには非常に微細な粒度まで磨砕、精製しなければならないが、最近の磨砕技術の進歩によって極微粒子の粉碎炭酸カルシウム UFGL (2μ 以下 96%, 1μ 以下 75~80%) が実用化されるようになった。*C. R. Price* 等²⁶⁾によれば、合成 CaCO_3 (PCC) は天然 CaCO_3 に比して比表面積が小さい場合でも吸油量は大きく、これは合成品は cluster 構造を有し、粒子内毛管への油の浸透を生ずるのに対し、天然品は粒子内毛管のない個別粒子であるためと解釈されている。これと関連して UFGL は微粒子でありながら接着剤所要量は少なく、この事も高濃度塗工の乾燥過程における乾燥性の向上に寄与している。印刷用塗工紙の高濃度塗工化は、これまで述べてきたような塗料処方技術、塗工原料の進歩を軸として、重要な動向の1つとして進められつつあるが、どの水準の塗工濃度が適正かは総合的な判断を要する問題で、未だ結論に至っていないのが実情であろう。なお顔料塗工についても熱可塑性樹脂と無機顔料 (クレー、 TiO_2 、 CaCO_3) の混合物ホットメルト (顔料配合比 50% 以上) を塗工す

る“dry coating process”²⁹⁾の開発が既に1974年に報ぜられており、技術的な可能性は充分考えられるが、実用化の価値については未知数と思われる。

加工工程の省エネルギーの第2点の「加工工程の合理化」についても、それぞれの加工紙分野にわたって多様な技術努力が進められているが、その内容は、①加工工程数の減少、と②各工程の改善の2つに分けられる。工程数の減少には異なった機能の加工を1つの工程におこむ「同時化」や、「インライン化」、あるいは技術改善による「特定の工程の省略」等の要素が含まれている。前述のポリマーラミネーションにおける、2種以上の異種機能のポリマーをワンパスで塗工する co-extrusion 技術は同時化の例であり、また粘着紙加工における剥離基紙への剥離剤塗工と粘着剤塗工、上葉紙の予備処置、および両者のラミネーションをワンパスの工程で行う方式は、インライン化の典型的な例である。

印刷用塗工紙を例としてこれら加工工程の合理化の幾つかの局面を考察してみると、塗料調製における連続全自動塗料調製システムの導入が省エネルギーの1つの方向である。その設計の基本は、①すべての塗料成分の液体化、②各成分の連続計量、および③連続インライン混合の3要素から成り、従来のバッチシステムに対する利点として品種変更における塗料の切替時間と系内に循環される塗料の量が大幅に減少できることがあげられる。例えば、既に1973年に Haindl 社 Walsum 工場（西独）の軽量塗工紙製造ラインに導入された全自動プラントの場合には、塗料の循環量はコーターの約10分間の運転分にすぎない³⁰⁾。また、最近の報告では塗料の切替時間はバッチ系の40～60分に対して連続系では5分、消費エネルギーはバッチ系の61 kWh/t に対して 40 kWh/t とのデータも示されている³¹⁾。もちろんこれらの関係は受入れる塗工原料の形態や、工場の製品構成、規模などによって異なるので、それぞれのケースの価値判断が必要であるが、省エネルギーの局面の1つとして注目される。塗工された塗膜の乾燥法については、従来のエアキャップに対して更に改良された手法としてエアフォイル・ドライヤーが導入されており³²⁾、両面乾燥方式によって乾燥過程の接着剤マイグレーションが明らかに軽減され、高いノズル風速の適用が可能となって乾燥効率が向上することに加えて、ほとんど密閉された構造のため外部空気の引込みがなく、循環空気の温度を高く保つことができ予熱エネルギーが少なくてすむこと、および「動く部分」が含まれていないことから、動力が節減できるなど、エネルギー節減のポテンシャルを有し

ていることが示されている。また、一般にエアドライヤーへのエネルギー・インプットとしては、①電動モーター動力（ファン）と、②加熱エネルギー（燃料）の2つがあるが、一定の温度に対して高率の熱伝達を得るよう設計する場合、風速、風量の増加につれて送気ファンの動力が全エネルギーの中の大きい割合を占めるようになる。これらを考慮し、ドライヤーの調整による省エネルギーを図る必要があるが、その1つは排気量のダンパー調節による減少で、それに応じてフレッシュエアの取入れを減少すると、排気中の絶対水分が増大する結果幾分乾燥容量は低下し、温度を若干高めることが必要となるが、燃料使用量はほとんどあらゆる場合に減少する。今1つは乾燥ゾーンの温度コントロールで、ドライヤーの中央部（恒率乾燥域）における乾燥速度を高めるようゾーン温度と風量を調節し、（硬化機能が不要の場合には）後端部の温度、風速を低下するのが良策とされている（一般にドライヤーの後端部では熱伝達速度よりも拡散速度が支配的な要素となる³³⁾）。これらの設備、操業条件の選択も乾燥エネルギーの節減に寄与する要素である。次に顔料塗工方式自体は十数年前よりエアナイフ塗工、ロール塗工等の相対的に低濃度、低生産性の方式から高濃度、高生産性のブレード塗工への転換が進められてきたが、最近のブレードコーターの改良は、①単段重塗工（従来の「高い塗工量が得られない欠点」を克服して、16～18 g/m²→25 g/m² のレベルの塗工量の実現）、および②軽量高速塗工（主に軽量塗工紙を対象として6～8 g/m² を 1,200 m/min 以上の高速で高濃度塗工）の2つの方向に向けて進められてきた³⁴⁾。これらの発展と塗料高濃度化との結合や、単段塗工～多段塗工の総合的な価値判断等が、省エネルギーの観点からも重要な検討課題である。また、オンマシン塗工～オフマシン塗工のいずれを選択するかは古くより論議のある所で、抄紙機とコーターの能力バランス、坪量・抄速の範囲、歩留、オーダーあたりの平均生産時間、要員、巻取輸送、および既存のマシンについてはコーターの組入れ適合性等検討すべき多くの要素を含んでいるが、ロットサイズが大きく、抄速の高い製品についてはオンマシン化による工程数の減少が有利である。塗工工程の予備段階であるサイズプレス処理についても再検討の機運にあり、サイズプレス本来の低濃度液含浸機能から、比較的高濃度液の表面処理機能への転換による省エネルギーの可能性があり、一例として Billblade coater で同じ量のデンプンを塗布する場合、サイズプレスに比べて濃度を6%→12% と高めることができ、乾燥負荷を50% 軽減できることが紹介されてい

る³⁵⁾。更には前述の *J. T. Loomer* の示唆⁴⁾ のようにサイズプレスの省略化の考え方もあり、例えば軽量塗工紙の生産において *St. Regis* 社 *Backsport* 工場の No. 5 マシン³⁶⁾ の例のように一部実現されているが、今後更に拡大されてゆく可能性もあろう。

以上は「塗工の高濃度化～無溶剤化」、および「加工工程の合理化」の2つの観点から幾つかの加工紙分野の技術動向を考察した。加工紙分野が多様のため、上記の記述はその一部に触れたに過ぎないが、大筋の流れとして共通の要素がはたらく反面、個々の局面ではきめ細かい独自の技術開発が進められているのが加工紙の省エネルギーの特色といえよう。

4. 結 語

色々の分野の加工紙における省エネルギーの努力を比較検討してみると、次の4つの点が注目される。第1に加工紙の分野がそれぞれ異なっているにもエネルギー節減技術の基本的な思想には類似性が高く、共通の指導原理に導かれて技術努力が成されている。第2にそれぞれの分野での省エネルギー技術は、多少とも何らかの画期的な技術シーズの開発に基づいて展開され、成果を生んでおり、今後も格段の省エネルギー推進には新しい技術要素の開発が必要である。第3にこれらの技術は必ずしも省エネルギーのみでなく、公害対策、生産性向上などの目的にも同時に大きく役立つ方向が指向されている点が注目される。更に第4に、これら異なった分野での技術開発成果はそれぞれ他の分野の改善にも役立つ要素を多く含んでいると考えられる。今後の紙加工は特定の狭い分野内での技術研究のみに頼らず、種々異なった紙加工分野や更に広い分野での技術進歩に着目して、技術移入を進めることが必要であらう。

参 考 文 献

- 1) J. E. Kalish : *Pulp Pap Int*, Vol. 21, No. 4, 51 (1979)
- 2) C. M. Hein, B. L. Lower : *Tappi*, Vol. 61, No. 5, 35 (1978)
- 3) F. C. Bacon : *Pulp Pap*, Vol. 52, No. 12, 142 (1978)
- 4) J. T. Loomer : *Pulp Pap* Vol. 52, No. 5, 65 (1978)
- 5) B. W. Attwood : *Pap Technol Ind*, Vol. 22, No. 3, 92 (1981)
- 6) A. M. Witt, R. A. Hookey : *Converter*, Vol. 12, No. 1, 12 (1975)
- 7) 上 一雄 : *パックス*, Vol. 24, No. 12, 69 (1980)
- 8) T. J. Cietek : *PFFC*, Vol. 52, No. 12, 15 (1978)
- 9) : *Vol. 51*, No. 2, 65 (1977)
- 10) W. A. R. Fraser : *TAPPI Pap Synth Conf*, 1978, 81~86 (1978)
- 11) M. E. Greroble : *PFFC*, Vol. 52, No. 6, 56 (1978)
- 12) W. L. Sadler : *PFFC*, Vol. 50, No. 1, 36 (1976)
- 13) R. H. Swain : *Pap Technol Ind*, Vol. 19, No. 1, 26 (1978)
- 14) S. M. John, M. E. Grenoble : *Pap Film Foil*, Vol. 49, No. 9, 45 (1975)
- 15) J. A. Fries : *Tappi*, Vol. 63, No. 7, 107 (1980)
- 16) : *Pap Film Foil*, Vol. 53, No. 8, 33 (1979)
- 17) A. W. Norman : *Pap Film Foil*, Vol. 48, No. 12, 36 (1974)
- 18) D. J. ST. Clair, J. T. Harlin : *Adhesive Age*, Nov. 1975, p. 39
- 19) L. D. Jurens, O. L. Marrs : *Adhesive Age*, Oct. 1975, p. 31
- 20) R. A. Gray, O. L. Marrs : *Adhesive Age*, Aug. 1976, p. 51
- 21) J. O'Leary : *Pap Film Foil*, Vol. 54, No. 12, 33 (1980)
- 22) P. R. Noyes, I. P. Esbitt : *PFFC*, Vol. 52, No. 3, 64 (1978)
- 23) J. Wilhelmina, V. O. Smith : *US Patent* 3, 714, 107 (1973)
- 24) I. Reinbold, H. Ullrich : *Tappi*, Vol. 63, No. 1, 47 (1980)
- 25) D. Eklund : *Tappi*, Vol. 62, No. 5, 43 (1979)
- 26) E. J. Heiser : *Paper Trade J.* : Vol. 162, No. 9, 30 (1978)
- 27) S. R. Dennison : *Tappi*, Vol. 62, No. 1, 65 (1979)
- 28) C. R. Price, R. W. Hagemeyer : *Tappi*, Vol. 61, No. 5, 47 (1978)
- 29) P. Clough : *Pulp Pap*, Vol. 48, No. 5, 96 (1974)
- 30) J. E. Kalish : *Pulp Pap*, Vol. 49, No. 4, 86 (1975)
- 31) R. Akesson : *TAPPI Coating Conf*, 1981, 61~70 (1981)
- 32) R. E. Johns : *Tappi*, Vol. 61, No. 2, 41 (1978)
- 33) L. G. Janett : *Pulp Pap Can*, Vol. 79, No. 12, 79 (1978)
- 34) F. Allan : *Pap Technol Ind*, Vol. 18, No. 10, 337 (1977)
- 35) J. A. Hanson, R. C. Roth : *Pulp Pap*, Vol. 55, No. 5, 144 (1981)
- 36) J. C. W. Evans : *Pulp Pap*, Vol. 51, No. 10, 137 (1977)