乾燥条件が中質軽量コート紙の品質へ及ぼす影響

バルメットエネルドライ フィリップ C ノールダール
訳 住友重機械工業(株)

Effect of Drying Conditions on Paper Quality on Wood-Containing Light Weight Coated Paper

Philip C. Norrdahl
Valmet-Enerdry

The effect of different drying configurations and drying profiles on offset print mottling was studied on a pilot coater utilizing a drying simulation program and a laboratory sheet fed four color offset print. The existence, as well as significance, of a drying critical area was demonstrated. The key factor in drying critical area is the coating color solidification process. On the base stock/coating color combination studied the critical solids content starts at 73% and ends at 81%. During this drying phase, specific evaporation should be low and rates of about 15 kg/m²h or higher clearly will increase the print mottling.

The drying energy source had little influence on the print mottling tendency. However, for the best print and paper gross combined with least print mottling, a drying concept including both infrared and air dryers is recommended.

1. はじめに

オフセット印刷モットリングがポロシティ、浸透性、毛管吸収性およびバインダーマイグレーションといったコーティング表面特性に結びつくことは一般的に認められている¹⁾。これらのコート紙の表面特性に影響を与える主要なパラメータの一つがコーティングの乾燥であることは疑いのない事実である。

これまでに多くの実験および出版物からオフセットモットリングと紙表面のバインダーマイグレーションとの関連を説明しようとする試みが行われてきた。明らかに乾燥はバインダーのマイグレーションに関わっているが²⁻⁴⁾、実験の中には表面のバインダーの集中度が高くなるほど、モットリングの出現が少なくなるという刺激的な発見に至ったものもある^{2,3,5)}。一方、バインダーの不均一な表面分布が不均一な紙表面構造としてモットリングをもたらすことが報告されている^{3,5,6)}。しかしながら、バインダーマイグレーション自体はオ

フセット印刷モットリングの唯一の原因ではないとも考えられている^{7,8)}。例えば、モットリングと塗工層の質量分布との間に明らかな相関関係が認められることを立証した文献もある⁷⁾。

乾燥がオフセット印刷モットリングに及ぼす影響に関しては、コーティングカラーの固形化のプロセスがきわめて重要であることは明白である。いくつかの事例で初期乾燥を急速に行うとモットリングは少なく^{2,5)}、原紙への水分浸透もまたモットリングに影響することが述べられている^{2,3)}。これらの脱水現象はいずれも表面のバインダー集中の違いに帰着するものであり、これは臨界固形分範囲の乾燥フェーズが最適品質への鍵であることを示唆するものである⁹⁾。

赤外線乾燥がモットリングに与える直接的な効果に関しては多くの研究がなされているが、その結果は必ずしも一致していない。コーティングヘッドと最初のエヤドライヤの間に赤外線ドライヤを用いるのが印刷適性に効果的であるとの報告があるが^{9,10)}。一方乾燥システムを変えてもモットリング傾向にあまり違いが見られないとする報告もある^{2,11)}。しかし、これらの研究は赤外線ドライヤは全体的な乾燥のフレキシビリティを向上させるという点では一致している^{2,10,11)}。

本報は Tappi Journal, May (1991) に掲載されたもので、Tappi Press の了解を得て翻訳したものである。

これまでのコーティングの乾燥に関する文献の多くは数少ないサンプルについて比較したものであった。本研究は広範囲に渡る実験サンプルを用いて、紙の印刷適性（主に印刷モットリング）に影響を与える乾燥プロセスでの要因解明を目的として実施したものである。

2. 実験

2.1 実験の概要

本実験では紙幅 1 m, 最高速度 2,000 m/min のパイロットコータを使用した。乾燥コンセプトは、乾燥エレメントの種類が豊富であることに加えて全体的な乾燥能力が高く、きわめてフレキシビリティに富んだものである（図 1）。また原紙に赤外線加熱装置を用いて予熱を行うことでオンマシンコーティングの諸条件のシミュレーションが可能である。コーティングヘッドの次に 3 台の赤外線加熱装置があり、1 台目と 3 台目は電気加熱式、2 台目はガス加熱式で赤外線総出力は 625 kW/m である。赤外線加熱装置の次に 4 台の両面ガス加熱式エヤドライヤが設置されている。各ドライヤは長さ 4 m, 最高空気温度 320°C, 空気流速 65 m/s である。

坪量約 40 g/m², 水分が 3~4.5% の碎木パルプペースの軽量コート原紙にショートドウェルコータを使用して塗工量 8~11 g/m² のコーティングを行った。カラーは顔料として SPS クレーおよびバインダーとして 6/6 pph でんぶん/SB ラテックスを含むもので、カラーの固形分濃度は 55~60% とした。運転速度は 1,000~1,200 m/min で行った。コーティング後の紙は水分 5~6% で 500~600 m/min の運転速度でスーパーカレンダー仕上げを行った。

なお、本研究では、原紙およびカラーは全て同一とし、乾燥装置の配列および乾燥プロファイルを大きく変えた。また実験の一つは予熱した原紙（60~65°C）を用い、他の二つは原紙温度を 15~20°C とした。

スーパーカレンダー仕上げ後の紙について通常の試験

図 1 バルメット社ヤルベンパ工場（フィンランド）のパイロットコータの乾燥装置配置

室でのテスト、米坪水分含有率、塗布量、白紙光沢（Hunter 75）、平滑度（Parker Print-Surf 10 および Bendtsen）、表面強度（IGT）、厚さ、密度の計測を実施した。

印刷は Roland Favorit 4×4 色枚葉オフセット印刷機を用いて B・C・M・Y の標準的な色順序により行った。モットリングについては 4 人の観察者による目視観察とイメージアナライザーを使用しての判定の両方で行った。3.0 μm, 5.4 μm および 9 μm の波長の調査には Chalnicon-Pasecon カメラ付イメージアナライザー SEM-IPS を使用した。

また表面強度については、オフセット印刷により 1 色目で乾燥強度を、4 色目で湿潤強度をテストした。

2.2 乾燥シミュレーションプログラム

乾燥プロセスにおいて何が起るかを予測することだけでなく、乾燥コンセプトを決定するためにも乾燥に関する数理的モデルが役に立つ。この乾燥シミュレーションプログラムは各乾燥エレメントでの特定の乾燥レートに加えて、MD 方向の紙温度ならびに塗工層および原紙の各水分含有率を求めることができる。典型的な乾燥シミュレーションの結果を図 2 に示す。

プログラムは質量及びエネルギーのバランスに基づいている。外部環境に加えて原紙やカラーの違いにより、シミュレーションプログラムには多様なパラメータ、例えば、ドライヤ装置の効率、カラーおよび原紙の特性（カラーの保水性および原紙の吸水性、熱伝導など）が含まれている。

コーティングの乾燥にきわめて重要な役割を果たす一つのパラメータに原紙に吸収される水分の量がある。このテスト方法の一つとして一定の接触時間を経た後にカラーを掻き取る手法がある。このテストをパイロットコータを用いて乾燥実験に使用したものと同一原紙およびカラーを使用して行った¹²⁾。もう一つの方法はパイロットコータ上でオンライン計測を行い、計

図 2 抄紙機方向の乾燥量変化を示す乾燥シミュレーションプログラムの一例

測データにマッチする結果をもたらすようにプログラムを操作するやりかたであり、他の基本的なパラメータに関する次の様な貴重な情報も得ることができる。

- ・各乾燥装置による蒸発
- ・コーティングカラー不動化領域の予想（乾燥プロセスのある時点でのコーティングカラーの固形分）
- ・紙の非コーティング面からの水分蒸発および原紙による水分吸収
- ・各乾燥装置による入力エネルギーに対する有効エネルギー（効率）

3. 実験結果

3.1 印刷モットリング

予熱した原紙での実験からモットリングを減少させるためには、コーティングヘッドから最初の乾燥エレメントまでのドウェルタイムをできるだけ短く（0.15秒未満）すべきであることが判明した。原紙（原紙中の液体）温度が脱水速度に及ぼす影響は大きい¹³⁻¹⁵。しかしながら、でんぷんをバインダーとした極めて優れた保水性を持つカラーでは原紙温度の違いによる影響は少ないように思われる¹³。

予熱を行わない原紙（15～20℃）ではドウェルタイムを長くしてもモットリングは発生しにくい。0.6秒に及ぶドウェルタイムでも、モットリングの無いサンプルの製造が可能であった。これはモットリングと初期乾燥エネルギーの関係を示している図3により説明される。コーティングヘッド後に設置した赤外線加熱装置により乾燥されたサンプルのモットリングは赤外線を使用しない場合と同程度であった（最初のエアドライヤまでのドウェルタイムは0.6秒）。

これらの結果は昇温域から乾燥危険フェーズまでに

図3 最初のドライヤの有効エネルギー出力の関数としての印刷モットリング

図4 最初のドライヤ（赤外線と1台のエアドライヤ）後のコーティングカラー固形分濃度と印刷モットリング（イメージアナライザによる）

及ぶ初期乾燥フェーズの重要性を示している（図3、4）。各々の乾燥装置の配列について、それぞれ乾燥エネルギーの最適点があることは明らかである。図3での赤外線加熱装置はコーティングヘッドの直後に設置されており、この事例では高い乾燥能力が乾燥危険フェーズに及んでいるために、120 kWを越える有効エネルギーによって紙の過乾燥をもたらした。またイメージアナライザによるモットリングの評価ではカラー固形分濃度が約73%から危険領域に入ることを示している（図4）。

次に乾燥危険フェーズの終わりを決定するために、緩やかな乾燥条件で運転した後、急にエネルギー入力量を変えろというテストを行った。乾燥プロファイルはカラー固形分濃度が73%を越えない範囲で徐々に初

図5 高乾燥レート域に入るときのコーティング層の固形分濃度の関数としての印刷モットリング（目視）

期乾燥量を増加させた。カラーの固形分が81%以下で高エネルギー入力フェーズに入った場合、モットリングが強く現れている(図5)。

危険乾燥領域の仮説が正しければ、カラー固形分濃度が78~80%に達した時の平均比蒸発率とモットリングの間に相関関係が得られるはずである。図6はいくつかの異なる乾燥装置の配列でテストしたもので、モットリングを最小に抑えるためにはコーティングカラー不動化時の平均蒸発率を5 kg/m²hまで低くすることが必要であることを示している。

カラー固形分が81% (乾燥危険領域の終点) に至るまでの原紙の水分吸収量をシミュレーションプログラムを用いて計算した。乾燥危険フェーズが緩やかな乾燥環境であれば、吸水性とモットリングの間に良好な相関関係が見られる(図7・サンプルA, C, D)。

吸水性の低いサンプルではモットリングは少なかった。

図6 固形分78~80%での比蒸発速度の影響

図7 原紙への吸水と印刷モットリング(目視)との関係

図8 高赤外線出力に続くエヤドライヤ乾燥能力の差異が印刷モットリング(目視)に与える影響

た。しかし、サンプルBのように乾燥危険フェーズでの乾燥レートが高い場合には、吸水性が低いにもかかわらずモットリングが発生する。これは、吸水量がモットリングを支配する唯一の要因ではないことを意味するものである。

この軽量コート紙でのモットリング傾向では、エネルギー源は決して重要なパラメータではない。図8は強力な赤外線による乾燥方法を含む二つの乾燥装置の配列間の比較であるが、明らかに緩やかな条件ではモットリングの発生がほとんどないのに対して、乾燥危険領域でのエヤドライヤによる強い乾燥によって著しいモットリングの発生が見られる。

3.2 その他の紙の特性との関係

他の紙の特性を調査したところ、概してモットリングと相関する関係を示している。

塗工紙が乾燥危険域において高い比蒸発率で乾燥されると、赤外線加熱装置、エヤドライヤいずれでも印刷光沢は数段低下する。昇温のみを目的とする赤外線ドライヤを使用することにより印刷光沢はエヤドライヤのみの場合より数段高くなっている(図9)。

乾燥危険域での高乾燥が紙光沢および平滑度に与える悪影響は印刷光沢に対するよりも顕著である。初期フェーズでのエヤドライヤのみによる乾燥と赤外線加熱装置とエヤドライヤの併用による乾燥では違いは見られない。

印刷ピックは乾燥条件がきわめて厳しい場合、乾燥・湿潤強度共に低下が見られる。初期のエヤドライヤで強烈な乾燥を行えば乾燥ピックが著しく低下するが、乾燥方式の違いによる差は見受けられない。

図 9 赤外線使用有・無のサンプルでの印刷モットリング（目視）および印刷光沢

4. 考 察

吸水性が高く地合の悪い原紙にバインダーとしてでんぶんを含んだカラーを塗工すればモットリングが発生しやすい条件となる。しかし、乾燥装置が適切に配列されており、かつ乾燥プロファイルが最適であれば、この潜在的な欠陥をかなりの程度解消できることが解明された。

予熱しない原紙と予熱した原紙での比較試験から、原紙に吸収される水分量の重要性が明らかになった。吸水性の高い高温の原紙の場合はモットリングを低下させるためにコーティング後、直ちに乾燥を行わなければならない。しかしこれは重要なポイントの一つではあるが、支配的なパラメータではない。

モットリングに関して初期の乾燥段階が重要性を持つことは明白である。さらに積極的に初期乾燥を行い、原紙の吸水量を減少させてカラーの不動化を早めるとモットリングは改善されるであろう。

乾燥シミュレーションプログラムの助けにより、塗工層と原紙の各々の条件および相互作用の予測が可能である。例えば、乾燥プロセス中のあるポイントにおけるモットリングと塗工層固形分量との間に明らかな相関関係があることが観察された。

初期乾燥フェーズ後の乾燥域の重要性を理解することは最高の印刷品質を実現するための鍵であることは疑いのないところである。この実験に使用した原紙とカラーの組み合わせではカラーの不動化領域は73~81%であった。この場合カラー固形分濃度が80%に達する時、比蒸発率が5 kg/m²hでモットリングは最小となるであろう。また、比蒸発率が約15 kg/m²h以上の場合には顕著にモットリングは増加するであろう。

図 10 各乾燥フェーズを含むコーティング乾燥プロセスの一般概念

この場合、カラーの固形分が81%に達した後では比蒸発率を上げてもモットリングに対し悪影響は認められなかった。基本的な乾燥フェーズを含む乾燥プロセスを図10に簡略化して示しておく。

いくつかの文献には、赤外線ドライヤのモットリングへの効果が強調されている。しかし、実験の結果からは、赤外線ドライヤの直接的効果は何ら認められていない。赤外線ドライヤの使用はその高エネルギー密度により、迅速な昇温のためやコーティング後すぐに乾燥を行う必要がある時には最良の解決策といえよう。

他の紙特性については、基本的にはモットリングとの相関性をかなり良く表している。特に乾燥装置の配列を変えない場合に良好な相関性が観察される。乾燥危険フェーズできわめて過酷な条件で乾燥を行った場合にはモットリングを発生させるが、紙特性もまた低下させる。

印刷光沢の観点からは、最初の乾燥エレメントとして赤外線が加熱装置を使用するのが不可欠である。実験では赤外線加熱装置とエヤドライヤの組み合わせを含む乾燥コンセプトの場合、赤外線加熱装置のみあるいはエヤドライヤのみの場合に比較して、数段の印刷光沢向上が見られた。通常、印刷光沢の悪化は紙表面粗さの違いやインク吸収の局所的な違いにより生じる¹⁶⁾。赤外線加熱装置を紙面温度の上昇に限定すると最良の光沢が得られるであろう。

印刷紙ピックおよび IGT による表面強度は、乾燥装置の配列およびプロファイルの大きな違いにもかかわらず同じレベルである。きわめて過酷な乾燥条件の場合は、赤外線ドライヤ使用の有無にかかわらず、強度は大きく低下する。

本実験とは別の軽量コート原紙を用いて全く同一のカラーを使用して試験を行った結果、同じ危険乾燥フェーズが存在することが分かった。しかし、使用し

た原紙の吸水性は低く、更に重要なことは地合がより良好であったことである。危険乾燥フェーズの重要性は明らかではあるが、これまで使用した原紙ほど決定的な要素にはならなかった。危険乾燥フェーズがより短かく危険域のカラー固形分は他の実験において観察されたよりも低いことが分かった。このことは文献¹⁸⁾に報告されているように、印刷インクの不均一な吸収の原因は繊維の膨潤および収縮である可能性を示唆している。これが塗工層の質量分布の違いに帰着するかもしれない⁷⁾。

この乾燥実験ではカラーの不動化固形分は約75~78%であった。73%の不動化点における状態をうまく表現することはむずかしい。しかし、運転中にコート面に触れてみる、また紙温度を計測することで乾燥危険フェーズの開始時点では塗工層は不動化していないことがはっきりと確認される。あるいは塗工層の厚さの違いによる部分的不動化という仮説を合理的な説明とすることができるとも思われる。

前に述べたように、不均一なインク吸収は主に紙の表面構造の違いにより生じ、この構造は乾燥プロセスにおいて進展すると思われる。従って、乾燥プロセスが原紙の影響を強くしたり弱くしたりすると思われる¹⁷⁾。

5. 結 論

これらの実験より得られた結論は下記の通りである。

- (1) コート紙の乾燥はでんぷんベースのカラーを使用した軽量コート紙のオフセット印刷モットリングを決定する重要なパラメータの一つである。
- (2) 乾燥装置の配列(例:乾燥エレメント等)の選択よりも正しい乾燥手段を選択することが重要である。
- (3) カラー固化プロセスが乾燥の最適化を決定する。
- (4) 塗工層から原紙への水の移動は繊維の膨潤および収縮を引き起こし、この結果、塗工層の質量分布の変動が生じると思われる。しかしながら、移動水量よりも最終的なコーティングの不動化の間の乾燥環境がより重要である。
- (5) いわゆる危険乾燥フェーズにおいて緩やかな乾燥条件を与えることの重要性が立証された。乾燥シミュレーションプログラムを用いて、危険乾燥フェーズがカラー固形分濃度73~81%の範囲であることが判明した。
- (6) 紙および印刷の光沢等の他の紙品質特性もまた乾燥条件に影響され、一般的にモットリングの傾向に追随すると考えられる。

(7) 印刷モットリングについての赤外線加熱装置の実際の利益は認められていない。しかし赤外線加熱装置による乾燥は概して印刷光沢を向上させると考えられる。

(8) 総合的な印刷品質の観点から、赤外線乾燥と空気乾燥の組み合わせが望ましい。赤外線は昇温エネルギーを発生させるものとすべきである。乾燥危険フェーズにおいては空気乾燥を適用するべきである。

文 献

- 1) Falter, K-A. and Schmitt, V., TAPPI 1988 Coating Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 159.
- 2) Engstrom, G., Storm, G., and Norrdahl, P., TAPPI 1987 Coating Conference Proceedings. TAPPI PRESS Atlanta, p. 45.
- 3) Fujiwara, H., Fujisaki, N., Shimizu, I., and Kano, L., TAPPI 1989 Coating Conference Proceedings. TAPPI PRESS. Atlanta, p. 121.
- 4) Kline, J., TAPPI 1988 Coating Conference Proceedings. TAPPI PRESS, Atlanta, p. 67.
- 5) Aria, T., Yamasaki, T., Suzuki, K., Ogura, T., and Sakai, K., TAPPI 1988 Coating Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 187.
- 6) Nishioka, T., Matsumoto, K., Uchida, A., and Fujita, K., TAPPI 1986 Coating Conference Proceeding, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 55.
- 7) Engstrom, G., Johansson, P-A., Rigdhahl, M., and Norrdahl, P., Ninth Fundamental Research Symposium Transcripts. Cambridge, Vol. 20, p. 92, 1989.
- 8) Isoard, J. C., TAPPI 1983 Coating Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 143.
- 9) Aschan, P-J., TAPPI 1986 Coating Conference Proceedings. TAPPI PRESS, Atlanta, p. 73.
- 10) Van der Kruk, H., TAPPI 1989 Coating Conference Proceedings, TAPPI, PRESS. Atlanta, p. 199
- 11) Hagen, K., TAPPI 1989 Coating Conference Proceedings. TAPPI PRESS, Atlanta, p. 1.
- 12) Norrdahl, P. C., TAPPI 1991 Coating Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 417.
- 13) Heikkila, P. and Norrdahl, P., 1990 AICHE, Chicago.
- 14) Eklund, D., TAPPI 1986 Coating Conference

- Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, P. 1
- 15) Salminen, P., TAPPI 1988 Coating Conference Proceedings. TAPPI PRESS. Atlanta, p. 209.
- 16) Hakila, O. and Vaittinen, E., Finnish Pulp and paper Research Institute, personal discussions.
- 17) Hekkinen, M-L., Masters thesis, Abo Akademi, Finland
- 18) Skowronski, J. and Lepoutre, P., TAPPI 1985 Coating Conference Proceedings. TAPPI PRESS. Atlanta, p. 41.
-