最新印刷講座 (第IV講)

J. Jpn. Soc. Colour Mater., 85 [2], 72-79 (2012)

UV硬化型インキの基礎と今後の展望

難波 正 敬^{*,†}

^{*}東洋インキ(株)プリンティング技術統括部技術3部第2課 埼玉県川越市栄1番地 (〒350-0803)

[†]Corresponding Author, E-mail: masataka.nanba@toyoink.co.jp

(2011年9月29日受付; 2012年1月27日受理)

要 旨

UV硬化型インキとは、UV照射を化学反応の起点とし硬化するインキである。UV硬化したインキ皮膜は、網目構造を形成しており、強靱な耐性をもつ。UV硬化型インキは、この特性により、さまざまな用途で使用されており、その使用実績は拡大している。また、近年、印刷市場では、省電力化やCO₂削減などの環境対応への取り組みとして、紫外線発光ダイオード(LED-UV)やオゾンレス型UVランプとこれらの光源で硬化するインキ(LED硬化型インキ、UV硬化型高感度インキ)を組み合わせたシステムも開発され、実用化されてきている。本稿では、UV硬化型インキが広く使用される理由とともにUV硬化型インキの基礎知識とUV硬化型インキの今後の展望について述べる。

キーワード: UV硬化型インキ, LED硬化型インキ, UV硬化型高感度インキ

1. はじめに

日本での紫外線エネルギーを利用したUV硬化型インキによる印刷システムは、1970年代に金属印刷やシール印刷に使用されたのが始まりとされている。その後、UV印刷は、従来の油性インキ(枚葉、輪転)を使用する印刷システムに比べ、その利点である瞬間硬化や無溶剤、パウダーレス、諸耐性(耐傷性、耐熱性、耐溶剤性など)により、上記に挙げたシール用途以外でも紙器やビジネスフォームの用途を中心に急速に広まることとなる。最近のUV印刷市場では、市場ニーズの高まりにより、クリアパッケージおよびファイル用途や、意匠性付与として疑似エンボス、コールド箔、レンチキュラーなどを用いた印刷物も見られるようになってきた。このようにUV硬化型インキを利用した印刷システムは、市場規模が拡大基調にある。

このように、さまざまな利点を有しているUV硬化型インキであるが、印刷システムとしては、UV照射装置の消費電力が大きいことやUV照射装置の設置スペースなどの課題が挙げられる。近年、それらの課題を克服する技術として、紫外線発光ダイオード(LED-UV)やオゾンレス型UVランプを搭載しUVランプ本数を減灯したシステムが開発され、併せてこれらの光源で硬化するインキ(LED硬化型インキ、UV硬化型高感度インキ)が開発されている。これらを用いたシステムは、おもに

薄紙商業印刷の用途が主体である。今後の印刷は、省電力化やCO₂削減といった環境対応がキーワードになることからさらなる用途拡大も期待できると考える。

2. 各種インキの乾燥方法

インキを被印刷体に印刷した後、定着させるためにはインキを乾燥させる必要がある。この乾燥方法には、インキタイプに応じて以下のような種々の方法がある。まずは以下にこの乾燥方法について述べる。

2.1 蒸発乾燥

インキ中の溶剤、水を加熱し蒸発させることで乾燥する。溶剤系インキではVOC(揮発性有機化合物)を含み環境への影響が大きい。水系・高沸点溶剤インキでは乾燥のための巨大なオープンが必要となり、それにともなう大きなエネルギーも必要となる。また、インキ中の固形分が被印刷体に乗っているだけであるため皮膜は弱く、諸耐性も低くなる傾向だが、溶剤の溶解性能によりさまざまな成分を使用することができるため、このデメリットを補うことができる。

2.2 浸透乾燥

水などの低粘度成分が被印刷体に浸透し、樹脂・顔料などの固形分が定着することで乾燥する。そのため、この乾燥方式はとくに乾燥設備を必要としないが、インキ中の低粘度成分の浸透が必要なため、被印刷体が限定され浸透性の低いコート紙、プラスチック等には使用できず、段ボールのような多孔質吸収素材に対する印刷にのみ使用できる。このように、被印刷体はかなり限定されるが、この乾燥方式が可能な印刷の場合、乾燥にエネルギーを使用することなく、インキに溶剤も含まず環境に調和した印刷となる。

2.3 酸化重合

亜麻仁油のような二重結合をもつ成分を使用することで空気

[氏名] なんば まさたか
[現職] 東洋インキ(株)プリンティング技術統括部技術3部第2課
[趣味] テニス、読書
[経歴] 京都工芸繊維大学大学院工学科学研究科修士課程高分子学専攻。

表-1 印刷に用いる乾燥方式とその特徴

	環境負荷・印刷作業性			印刷皮膜 強度・耐性がある	被印刷体	
	nonVOC	短時間乾燥	乾燥エネルギーが小さい		非吸収素材に印刷可能	低耐熱素材に印刷可能
UV硬化	○	○	△	○	○	○
酸化重合	○	×	○	△	○	○
2液硬化・常温	○	×	○	○	○	○
2液硬化・高温	○	△	×	○	○	×
浸透	○	○	○	×	×	○
蒸発・常温	×	△	○	×	○	○
蒸発・高温	×	○	×	×	○	×

I(開始剤)
R(UV照射により活性化した開始剤)
・(ラジカル)
M(モノマー)

図-1 UV硬化反応のメカニズム (ラジカル重合)

中の酸素と反応，酸化重合させることで硬化する。浸透乾燥と同様に乾燥のための設備は必要ないが，乾燥に時間を必要とするためすぐに後作業に入れない，インキの裏付きを防ぐ目的でパウダーを散布する必要があるため，作業環境が悪い等の問題がある。

2.4 2液硬化

互いに反応性のある2液を印刷前に混合し，印刷後に常温または加熱して反応させることで乾燥させる。2液の正確な計量と混合作業が必要となる。常温硬化インキは2液の混合により乾燥が始まるため，すぐに使用する必要がありインキを保存することができない。

2.5 UV硬化 (ラジカル重合)

反応性アクリレートを含む紫外線または電子線を照射することで乾燥する。溶剤などのVOCを含まないため環境への影響が小さく，プラスチックのような浸透しない被印刷体にも使用できる。瞬間硬化であるため印刷直後に後作業に入ることができ，UV照射しなければ乾燥しないため印刷機上で乾燥することがない。また，化学反応で重合することにより網目構造を形成するため，皮膜は強靱な傾向である (図-1) ¹⁾。

印刷現場では，このようなさまざまな乾燥方式が見られるが，UV硬化型インキは，化学反応により硬化するメカニズムにて乾燥する。この硬化メカニズムにより得られるUV硬化型インキの硬化皮膜についての特徴について次に述べる。

3. UV硬化型インキの特徴

先のとおり，UV硬化型インキはその反応機構により瞬時に硬化する。そのため，UV硬化型インキはそれに付随する特徴

を有する (表-1)。

3.1 メリット

①瞬間硬化

UV照射により乾燥が瞬時に行われるため，印刷直後に成型などの後工程に移ることができ作業性向上に貢献できる。酸化重合型インキでは瞬間に乾燥できないため，印刷後直後の印刷物をそのまま重ねることができない。そのため，印刷物表面にパウダーを撒いて対応している。近年，印刷現場では，この瞬間硬化の特徴とパウダーをなくすことによる作業環境の改善を目的にUV硬化型インキに切り替える流れが見られる。

②皮膜物性

UV照射により化学反応が生じ，架橋構造を形成するため，一般に強靱なインキ皮膜を形成する。これにより，耐摩擦性や耐溶剤性といった皮膜物性を得ることができる。

③低温乾燥

UV照射が化学反応の起点となる硬化機構であるため，ほかの方式に比べて低温度領域での乾燥が可能である。そのため，PPやPETなどの熱を嫌う被印刷体にも用いることができる。しかしながら，一般のUVランプからは紫外線だけでなく熱線である赤外線も出力されるため，完全に熱を排除するには，赤外線カットフィルターを装備することや紫外線発光ダイオード(LED-UV)を用いるなどの対策が必要となる。また，このような照射設備を用いる場合，通常よりも多くのUV照射 (積算光量) が必要となる。これはUV硬化が化学反応であり，化学反応は反応環境が高温下の場合，反応速度が速く進行するためである。

④無溶剤

UV硬化型インキは一般的に溶剤を含まず，固形分のみである。そのため，印刷されたインキ皮膜はすべて硬化皮膜となる。

⑤省エネルギー

蒸発乾燥に必要なオーブンを必要とせず，それらの乾燥方式と比較すれば省エネルギーといえる。しかしながら，酸化重合型インキなどと比較すれば，多くのエネルギーを必要とする。近年では，この部分を克服する技術として，LED-UVやオゾンレス型UVランプを用い減灯するシステムが開発され，これらの光源で硬化するインキ (LED硬化型インキ，UV硬化型高感度インキ) が開発されている。

3.2 デメリット

①低粘度化

UV硬化型インキは，溶剤を含まないために，一般に粘度が

高くなる傾向にある。また、溶剤を含むインキは、溶剤の高い希釈能により温度依存性が低くなるが、UV硬化型インキは溶剤を含まないために温度依存性が高くなる傾向にある。そのため、印刷環境をなるべく一定の温度に保つ必要がある。また、印刷方式として低粘度である必要があるフレキソ印刷などでは、しばしばインキを加温することでインキの低粘度化を図り使用される。

②接着性

UV硬化型インキは、UV照射により化学反応が生じ、架橋構造を形成するため、強靱なインキ皮膜を形成できる。一方、この架橋構造の形成前後でインキ皮膜に硬化収縮が生じる。この性質は、インキ皮膜が被印刷体に定着する接着性に悪影響を及ぼす。一般にこの接着性の評価は、セロテープを用いた剥離試験で評価されるが、接着性が不十分であると印刷後の後工程などで不具合が生じることがある。そのため、この欠点を補うため、印刷現場では、被印刷体に応じてさまざまな接着性レベルをもったインキが用いられている。

③脱墨性

紙を再生する際にパルプからインキを取り除く「脱墨」を行う。UV硬化型インキは一般に架橋構造を形成した強固なインキ皮膜を形成するため、脱墨の工程の中で、パルプからの剥離が難しく、この脱墨性が劣る。しかしながら、近年、徐々に酸化重合型インキとおおむね同等の脱墨性をもつUV硬化型インキも開発されている。

4. さまざまな印刷形式

印刷は、さまざまな版式を用いて被印刷体にインキを転移さ

被印刷体形状	版式	印刷方式
枚葉	凸版	直刷り
ウェブ	凹版	
	平版	
曲面	孔版	間接刷り (オフセット)

図-2 さまざまな印刷形式

図-3 さまざまな版式に対するインキ粘度

せることで行われる。被印刷体には、枚葉 (板紙, フィルムシート), ウェブ (巻紙), 曲面 (金属缶, チューブ) がある。版式は、凸, 凹, 平, 孔版の各方式が選択される。印刷方式には直刷りと間接刷り (オフセット) がある (図-2)²⁾。直刷りとは、版から被印刷体に直接インキを転移させるものである。一方、間接刷りは、版と被印刷体にインキ転移させるためのクッション性をもったゴム板 (ブランクット) やゴムローンを介在させるものである。間接刷りでは、ブランクットなどのクッション性のため被印刷体の表面状態が多少粗面であっても、良好なインキ着肉性を得ることができる。これらの被印刷体、版式および印刷方式は、それぞれの用途に必要な要求性能に応じて、組み合わせられ使用される。また、最近では、小部数の印刷や可変印刷などでインクジェットによるUV印刷も実用化されつつある。

このように用途に見合った版式が選択されるが、それぞれの版式で最適なインキ粘度が異なる (図-3)。この図の中で最も低粘度のインキが必要となる凹版印刷 (グラビア印刷) は、凹版へのインキの充填と凹版から被印刷体への転移が必要となる。そのため、凹版印刷では、インキ粘度が低くなければならない。一方、最も高粘度が必要な平版印刷では、均一な画像を得るため多くのロールにてインキを練り伸ばしながら印刷される。そのため、多くのロール間を転移するだけのインキ粘度が必要となる。UV硬化型インキは無溶剤であることから反応性アクリレート希釈剤として使用する。このモノマーは溶剤と比較し高粘度であり、希釈能が乏しいため、グラビアインキなどをターゲットとした低粘度化は難しい。したがって、現在、UV硬化型インキは、凹版 (グラビア印刷) 以外の版式である凸版 (フレキソ印刷含む), 孔版, 平版でも採用されている。

このようにさまざまな版式で使用されるUV硬化型インキは、どのような素材を使用して設計されるかを述べる。

5. UV硬化型インキの組成と設計

UV硬化型インキの組成を表-2で示した³⁾。UV硬化型インキは、ビヒクル、顔料、開始剤、補助剤により設計され、これらの素材を組み合わせることで、①十分な着色力、②印刷に適したインキ形状、③UV照射により瞬間に乾燥する硬化性、④被印刷体との良好な接着性のような性能を発現させている。次にこれらの性能に応じた設計について説明する。

5.1 着色力

<顔料>

基本的にインキは、被印刷体を着色することを目的とする。インキに使用される着色成分としては、おもに染料と顔料が用

表-2 UV硬化型インキの組成

	役割
ビヒクル	樹脂, 反応性アクリレートモノマーを合わせた成分。顔料を被印刷体に定着させる役割を担う。インキ形状・物性に大きく影響する。
顔料	着色成分。有機顔料・無機顔料・体質顔料等がある。ビヒクルとの濡れが重要となる。
開始剤	光重合開始剤。
補助剤	顔料分散性, 貯蔵安定性, 皮膜物性などを付与する。

図-4 インキに用いられる顔料の実例

いられる。この両者の大きな違いは、水への溶解性であり、顔料は水に溶解しない性質をもつ。UV硬化型インキは、後に印刷方式の項目で詳細を述べるがインキと水が混合された乳化状態で印刷されるオフセット印刷が主流であることやインキ皮膜が強靱であることから耐水性や内容物耐性が必要な紙器やシールなどの再外装に用いられることが多い。これらの理由より、UV硬化型インキでは一般的に顔料が使用される（図-4）。

また、顔料の発色は顔料とビヒクルの濡れ性、分散性に大きく依存しており、濡れ性および分散度合いが高くなるほど、インキは濃く鮮明に発色する。一般的に図-4のような有機顔料はベンゼン環を骨格とする非極性分子が重なったものであり、同じような非極性素材であり酸化重合型インキで用いられる油素材と濡れやすい傾向である。一方、UV硬化型インキに用いられる反応性アクリレートは油素材と比較して極性が高い傾向である。

5.2 インキ形状

<ビヒクル、顔料>

UV硬化型インキは無溶剤であることから反応性アクリレートを有するUV硬化型モノマーを希釈剤として使用する。このモノマーはさまざまなものがあるが、おもに硬化性能と希釈性能のバランスから選定する必要がある。たとえば、高粘度である多官能モノマーを使用せず、低粘度の単・2官能モノマーの使用により低粘度化を図ると十分な乾燥性が得られないなどUV硬化型インキの特長である瞬間硬化や強靱なインキ皮膜を得ることが難しくなる。これらのことから、UV硬化型インキは、比較的高粘度のインキとなる。

また、被印刷体にムラなく均一にインキを着肉させるために流動性が必要となる。流動性発現にはビヒクルと顔料の濡れが重要となる。濡れが不十分であると顔料粒子同士の凝集力により流動性がないインキとなる。顔料とビヒクルの濡れ性の向上を考えた場合、使用する顔料の種類によってビヒクル成分に親油性を付与したり、上記で示した顔料の処理や補助剤を用いたりする。

5.3 硬化性

<UV照射システム>

UV硬化型インキを用いる印刷現場では、おもに高圧水銀ランプとメタルハライドランプ（高圧水銀ランプをベースに金属

図-5 さまざまなUV照射ランプの発光スペクトル

化合物を添加したランプ）が用いられている（図-5）。この高圧水銀ランプは、発光分布の特徴として365 nmをピークとし313 nm以下の短波長側の光強度が大きい特徴がある。また、メタルハライドランプは、254～450 nm付近まで連続した分布となり、とくに350～450 nmの光強度が大きい特徴がある。一般的に顔料による紫外領域（とくに短波長側）の吸収が無視できないカラーインキを硬化させるには、長波長側に発光分布をもつメタルハライドランプが用いられ、ニスのような透明なインキの硬化には、高圧水銀ランプが用いられる。さまざまな印刷構成を行う必要がある実際の印刷機では、それぞれのランプが数本ずつ装備されていることが多い。

また、省電力対応で注目されているものとしては、紫外線発光ダイオード（LED-UV）やオゾンレス型UVランプがある。LED-UVは、素子となる半導体材料のバンドギャップに起因する波長で強く発光するが、波長分布が半値幅20 nm以下と極端に狭いことが特徴である。また、LED-UVの発光波長は、素子により365～405 nmのものがあるが、現在は385 nmが主流となっている。図-5のとおり、LED-UVの発光分布スペクトルがもつ光強度は、従来ランプ（高圧水銀ランプ、メタルハライドランプ）よりも大きい。しかしながら、紫外領域全体の積算光量から考えると、LED-UVは従来ランプよりも劣る傾向にある。このため、現状でのLED-UVの課題としては、従来ランプと比較してLED-UVの積算光量が低くインキ乾燥能力が劣ることが挙げられる。

一方、さまざまなUVランプメーカーから出されているオゾンレス型UVランプは、従来のメタルハライドランプから短波長側の光をカットしたものであり、エネルギー効果の強い短波長側の光をカットしたことでオゾンの発生を抑制できる。

<ビヒクル>

インキの硬化性を高めるには多官能アクリレートを使用时架橋密度を上げることが重要となる。これにより、硬化皮膜の強度が上がるため印刷物を傷つきから守ることができるようになる。また、乾燥性が上がり印刷スピードを速めることができるため作業性が向上する。

<顔料、開始剤>

UV硬化型インキは開始剤が紫外線を吸収・励起し硬化する。しかしながら含有する顔料が可視光だけでなく紫外領域にも吸収があるため、十分に開始剤を励起させるためには使用顔料に

配慮した開始剤処方を設計しなければならない。とくにカーボンブラックを用いたインキでは著しく硬化性が低下するため異なる吸収波長をもつ開始剤や増感剤を数種類併用する。

また、LED-UVやオゾンレス型UVランプを光源とする場合は、従来ランプと比較し、反応に利用できる光が大幅に制限される。そのため、インキの硬化性を確保するためには、使用する顔料に配慮し開始剤を選択するとともにこれらのランプの発光分布も十分に考慮しなければいけない。

5.4 接着性

紙のような吸収素材を用いる場合、インキが被印刷体へ浸透するため接着性は得られやすい。しかしプラスチックフィルムのような非吸収素材に対しては、インキと被印刷体の接着性が重要となる。UV硬化型インキに使用する反応性アクリレートは比較的高極性であるため表面張力の低いプラスチック原反に濡れにくく、ひどくなるとはじかれてしまう。また、UV硬化時の架橋により、インキ皮膜の硬化収縮が起こる。これによるプラスチック原反とインキ皮膜との間のひずみの発生が密着力の低下を招く。対策としては、このひずみを緩和させるため、非反応性成分や体質顔料の配合などの対策を行う。

6. UV硬化型インキの使用例

UV印刷は、従来の油性インキを使用する印刷システムに比べ、その利点である瞬間硬化や無溶剤、パウダーレス、諸耐性（耐傷性、耐熱性、耐溶剤性など）により、急速に広まってきた。

一方、UV硬化型インキは、ほかの乾燥方式のインキと比較し、ハイコストの傾向にある。これは光重合開始剤をはじめ高価な原料が多いためである。しかしながら、印刷においてインキコストが大きな問題となるかどうかは印刷物のトータルコストに占めるインキコストの割合による。印刷物のトータルコストの中でインキの占める割合は、印刷物そのものが安価であり、インキ使用量が多い場合にコスト高となる。逆に印刷物が高価でインキ使用量が少ない場合は、インキコストは大きな問題にならずUV硬化型インキが採用されやすい。

また、被印刷体が表面にコーティングおよびラミネートされた紙やプラスチックフィルムなどのインキ浸透性がないものの場合、紙への印刷のような浸透乾燥が利用できない。さらに、プラスチックフィルムは、加熱により変形する問題が生じるため、高温加熱による乾燥は期待できない。このように非吸収素材や低熱性素材に対しては、無溶剤かつUV照射を化学反応の起点するUV硬化は、その特徴を発揮できる乾燥方式である。

表-3にUV硬化型インキの用途と採用度を示した。この中でUV硬化型インキが使用されている用途、採用理由などについて解説する。

＜紙器＞

食品、化粧品、医薬品などの紙箱の印刷に使用され、主として枚葉平版オフセット方式で印刷される。

一部の紙器印刷では酸化重合型の油性インキが使用されているが、速乾性でないため次の作業に移すまでに時間を要する。また、インキの裏移り防止のためにパウダーをスプレーしており、作業環境が悪く、後加工にも悪影響を及ぼすことがある。したがって速乾による生産性向上とパウダーレス化が、この用

表-3 印刷用途とUV印刷の採用分野

印刷用途	被印刷体	おもな印刷形式		UV印刷の採用度 (国内)
		被印刷体形状	版式・印刷方式	
紙器、厚紙	紙	枚葉	平版オフセット	○
		ウェブ	凹版(グラビア)	×
クリアケース	プラスチック	枚葉	平版オフセット	○
ダンボール	紙	枚葉／ウェブ	凸版(フレキソ)	×
雑誌、カタログ	紙	枚葉	平版オフセット	△
		ウェブ	凹版(グラビア)	×
新聞	紙	ウェブ	平版オフセット	×
軟包装フィルム	プラスチック	ウェブ	凹版(グラビア)	×
シール、ラベル	紙／プラスチック	ウェブ	凸版	○
ビジネスフォーム	紙	ウェブ	平版オフセット	○
カード	プラスチック	枚葉／ウェブ	平版オフセット	○
カップ、チューブ	プラスチック	曲面	凸版オフセット	○
飲料缶・食缶	金属	枚葉	平版オフセット	△
美術缶		曲面	凸版オフセット	×

途でのUV化の大きな目的である。また紙の表面にポリエチレンをコートしたものやアルミホイルをラミネートしたものなどの場合は素材への浸透が期待できないためUV化のメリットはさらに高まる。

＜クリアケースおよびファイル、カード＞

クリアケースおよびファイル、磁気カードなどに使用される。透明プラスチックシートを使用するクリアケースは裏面から枚葉平版オフセット方式で印刷されることが多い。カードは通常枚葉平版オフセット印刷やウェブ平版オフセット印刷をし、後工程でカードのサイズに打ち抜き加工がなされる。

PP、PETまたはPVCなどの非吸収素材が被印刷体であり、浸透乾燥が期待できないため、UV硬化型インキで印刷されている。平版印刷適性が必要であると同時に、接着しにくい素材が多く、接着性の良いインキが望まれる。インキ設計面としては、素材への濡れ性が良い原料を使用し、硬化収縮を小さくするため、モノマーの骨格構造、官能基数を調整する必要がある。

＜シールラベル＞

紙やフィルムの裏面に粘着剤を塗布してあるタック原反を用い、ウェブ凸版方式で印刷されることが多いが、枚葉平版オフセット、ウェブ平版オフセット方式も用いられる。凸版方式ではマージナルゾーンが出やすいことや高速印刷時に濃度が安定しにくいなどの欠点があるため、今後はロットサイズが大きく高速印刷が望まれる場合は、凸版方式の中でもUVフレキソ方式やウェブ平版オフセット方式が増えると思われる。

ラベルは食料品や薬品、サニタリー製品等に用いられる場合や、屋外用途にも用いられるなど使用用途は多岐にわたる。したがって、用途に応じて耐光性や耐水性、耐内容物性等の性能が要求される。

このように、シールラベルに用いられるインキは多くの印刷方式に適用でき、さまざまな用途に応じた性能を発現することが望まれる。したがって、さまざまな要素をバランス良く有したインキが必要となる。

＜ビジネスフォーム＞

主としては事務用帳票やプリンター用紙などの印刷であり、おもにウェブ平版オフセット方式で印刷される。文字・螺旋・枠などが多く、印刷面積に対してインキの使用量が少ないため、UV 硬化型インキの価格が比較的受け入れられやすい分野であり UV 化が進んでいる。平版印刷適性が必要であり、高速で印刷される場合が多く速い乾燥性が必要となる。印刷物は、使用時にさらに印字や書き込みがなされる用途であるため、用いるインキは以下のようなビジネスフォーム特有の性能が要求される。

①ノンカーボン紙適性（NC 適性）

ノンカーボン紙とは、従来のカーボン紙（紙と紙の間に挟んで用いる）や裏カーボン紙（重ねた紙のうち、上の紙の裏にカーボンを印刷してあるもの）に替わって、複写伝票などで用いられる紙である。上の紙の裏面にコートとされたマイクロカプセルが筆圧やプリンターの圧力で破壊され、中から出た発色剤が下の紙の表面にコートされた酸性成分と反応して発色する。インキ成分に用紙にコーティングされた薬品類と反応し変色するものがあるため注意を要する。

②NIP 適性

NIP とは non-impact printing の略で直接活字を打ち付けずに印字する方法であり、ここでは熱を用いるプリンターでの印字適性のことを言う。印字の熱によりインキが溶けると熱ドラムを汚すなどの弊害が出るため耐熱性のあるインキが必要となる。耐熱性のある顔料を選ぶと同時に、軟化点の低い樹脂の使用は避ける。

③OCR インキ、OMR インキ（ドロップアウトカラー）

OCR は optical character reader、OMR は optical mark reader のことで、いずれも書かれた文字やマークを光学的に読み取る装置である。ビジネスフォームの枠などはこの読取装置で読み取られないようにするため、適切な吸収波長をもった材料を選択しなければならない。

現在では純粋なビジネスフォームの需要は減少しており、同じビジネスフォームの印刷機を使ってダイレクトメールの印刷、小サイズ・小ロットの商業印刷などの新しい印刷が行われている。

＜ポスター、パンフレット＞

この用途は、従来、枚葉平版オフセット方式により酸化重合型インキにて、印刷されてきた。現在も大ロットのものでは、この状況は同じである。しかしながら、小ロット多品種のものに対しては、徐々に UV 硬化型インキが使用され始めている。その理由としては、大きく三つ挙げられる。

①UV 硬化型インキのもつ瞬間硬化の特長から、印刷後すぐに納入および後加工工程が可能となるため

②酸化重合型インキではパウダー散布が必要となるが、このパウダーによる作業環境の悪化や後加工時のトラブルが誘発されるため

③UV 硬化型インキを用いるには UV 照射設備が必要だが、既存機に後付けできるものや LED-UV やオゾンレス型 UV ランプなどの選択肢が開発されてきたため

このようなメリットにより、UV 硬化型インキは酸化重合型インキと比較し、コスト高なものの採用されるケースが多くな

ってきている。

7. UV 硬化型インキの現状と今後の課題

環境保全に対する関心は、すでに消費者にも広く定着している。さらに、環境保全を取り巻く状況は、各種条例でも VOC 放出量など規制が行われ、年々厳しくなっている。このため、企業としても環境問題に対応する必要に迫られ、また、それをイメージアップに利用するという側面もある。

UV 硬化型インキは VOC を含まず、環境に優しいインキである。しかし、実際には版の作成、印刷機の洗浄には溶剤が用いられ、紙への印刷では脱墨性（紙の再利用）に劣る。これらのことから VOC 削減はもちろん、脱墨性も配慮したインキへの注目が集まっている。

また、UV 印刷システムとしては、UV 照射装置の消費電力が大きいことや UV 照射装置の設置スペースなどの課題が挙げられる。近年、それらの課題を克服する技術として、紫外線発光ダイオード（LED-UV）やオゾンレス型 UV ランプが開発され、これらの光源に対応できるインキ（LED 硬化型インキ、UV 硬化型高感度インキ）が開発されている。

ここでは、近年、開発の進んでいる環境調和型インキの現状と将来性について解説する。

7.1 LED 硬化型インキ

LED-UV 硬化システムのメリットとしては、従来の UV ランプ方式と比較して、①消費電力が小さい、②ランプおよび電源装置の小型化が可能、③オゾンの発生がない、瞬間点灯・消灯が可能、⑤熱の発生が少ない、⑥ランプ寿命が長い、などが挙げられる。

LED 硬化型インキを設計するうえで最も重要となるのが、LED-UV 光源に対する反応性である LED-UV は単一波長の発光であるため、反応に利用できる光（波長域が狭い・積算光量が少ない）が制限される。このため、LED-UV 光の有効活用が最も重要であり、光源に適した処方設計（光開始剤、顔料）が必要となる。現在、LED-UV 印刷は、薄紙商業印刷分野への導入が主体であるが、インキや照射装置、印刷機の改良が進んでおり、今後は、さらなる用途拡大も見込まれる。また、LED-UV 硬化システムは、2013 年から強化されていくと言われている水銀規制条約面からも期待が寄せられている。

7.2 UV 硬化型高感度インキ

UV 硬化型高感度インキは、昨今さまざまな UV ランプメーカーから出されているオゾンレス UV ランプや従来の UV ランプで硬化することができる。UV 硬化型高感度インキは、LED 硬化型インキで培われた少ない UV 光でインキを硬化させる技術に応用したものであり、従来の UV 硬化型インキと比較し、少ない UV 光で硬化することができる。現在、オゾンレス UV ランプを使用したシステムは、LED-UV 硬化システムと競合しており、こちらも薄紙商業印刷分野（雑誌、カタログなど）への導入が主体である（表-4）。

7.3 UV 硬化型植物油インキ

インキ中の使用素材を石油系（枯渇）資源からの植物由来（再生産可能）資源へシフトすることで環境対応を目指している UV 硬化型インキとしては、過去より UV 硬化型 SOY インキ

表-4 UV照射システムとインキの組み合わせ

UV照射システム	適応インキ
通常UV照射システム *平版オフセット印刷方式時：3～5灯	一般UV硬化型インキ
LED-UV照射システム	LED硬化型インキ
通常UV照射システム（減灯） *平版オフセット印刷方式時：1～2灯	UV硬化型高感度インキ
オゾンレスUV照射システム	

があった。このSOYインキは、ASA（米国大豆油協会）が提唱した揮発性有機化合物の放出抑制などを目的とした考えに基づいて作製したインキであり、調合インキ全重量の7%以上の大豆油を含むことでASAからUV硬化型SOYインキとして認定される。さらに、近年は、大豆油だけでなく植物由来資源をすべて含めると概念が広がり、調合インキ全重量の7%以上の植物油を含むことにより印刷インキ工業連合会より認定されるUV硬化型植物油インキというカテゴリーに発展した⁴⁾。

これらのような再生産可能な資源を使ったUV硬化型インキの環境に対する貢献度は、前記した揮発性有機化合物の放出抑制という観点から考えると、一般的なUV硬化型インキは揮発性有機化合物を元来含有していないため、石油系（枯渇）資源からの植物由来（再生産可能）資源への部分的なシフトがおもなメリットとなる。また、これらの認定にはそれぞれマークが用いられ、このマークを印刷物に添付することで環境を意識する企業および製品のイメージアップにつながることから需要が増加している。

7.4 UV硬化型水なしインキ

一般的な平版印刷では湿し水を用いて印刷部と非印刷部を形成している。この湿し水には安定した非印刷部を保つために水の表面張力を下げて版を濡らす、そしてインキと水の乳化を促進し濃度バランスを均一にさせるなどの機能が求められる。

これらの目的で湿し水にはしばしばアルコール素材が含まれる。しかしながら印刷工場健康管理や大気放出時のVOC低減の観点から、条例および印刷団体による自主規制においてアルコールの使用量を規制されつつある。また、通常の平版作製時の廃液、湿し水廃液は産業廃棄物として回収が義務づけられている⁵⁾。

これらの問題を解決するため、日本WPA（Waterless Printing Association）が水なし平版印刷を推奨している。「水なし平版によって印刷」され、一定の手続きを経ると「バタフライマーク」を印刷物に付けることができる。

この水なし版は平版の一種であり、表面のシリコン層が水あり版の湿し水に相当し、インキを反発する仕組みとなっている。そのため、湿し水を使わない印刷が可能となる。また水なし版は、有害な廃液が出ない水現像方式であり、現像処理後の排水は下水に流すことができる。近年、環境を意識する企業および製品のイメージアップからUV硬化型水なしインキの需要も高まりつつある。

7.5 UV硬化型フレキシオンキ

近年の日本におけるUVフレキシ印刷は、当初ドライラミネート加工の代替えとして、クリアーニスから実用化された。フレキシオンキについては、従来の溶剤タイプから水性およびUV化に進んでおり、シールラベルや軟包装材分野での採用が見られる。しかしながら、欧米でのフレキシ印刷の隆盛と比較し、日本での実用化はなかなか広く進展しない。この理由としては、欧米と比較し、①日本では、軟包装材分野でグラビア印刷が広く実用化していること、②全印刷用途の中でシールラベル用途の割合が低い、③副資材コストが高いため、フレキシ印刷方式は本来、小ロット多品種向きの方式だが、大ロット小品種向きの方式となっている、などが考えられる。しかしながら、フレキシ印刷は、印刷システムの技術革新（アニロックスロール、版、ギャレス印刷機など）により印刷品質が向上しており、インラインで後加工ができるという輪転印刷でのメリットから、ナローウェブの印刷では、印刷品質および環境対応に加えてUV硬化型インキが印刷機上で乾燥しない機上安定性も評価され、UV化への移行が少しずつ進んでいる。

7.6 EB硬化型インキ

電子線（EB）はUV光と比べてかなり高いエネルギーをもった粒子線であるため、UV硬化型インキでは解決できない硬化性に関する諸問題の解決および機能性付与が可能である。たとえば、EBはモノマーやオリゴマーに直接作用するため硬化性能に優れ高速印刷に最適であり、熱発生がないため熱の影響を受けやすい被印刷体への印刷や耐熱性の低い材料の選択が可能となる。また、EBの透過性により色相、濃度に左右されずに硬化させることができ、高いエネルギーにより被印刷体の表面変性を行うことができ接着性発現が困難なプラスチックなどにも未処理で印刷可能となる。

しかしながら、現状EB硬化システムの実用化はほとんど進んでいない。その理由としてはEB照射装置が大型で初期の導入コストがかかる、不活性ガスを要するためのランニングコストが高額になるなどが挙げられる。ただ海外に着目するとノスを中心に実績が広がっている。

8. おわりに

本稿では、UV硬化型インキの基礎と今後の展望について、インキ設計面を中心に紹介した。UV硬化型インキを用いた印刷は、その瞬間に硬化する特性からその使用実績は拡大している。しかしながら、さらにUV印刷が広く社会に貢献できる技術になるためには、環境保全や電力面に対するそれらの課題を克服する技術を継続して進展させていく必要があると考える。

文 献

- 1) 荻野一善：“高分子化学—基礎と応用—”，東京化学同人。
- 2) 小西良和：第16回UV／EB表面加工入門講座（2004）。
- 3) 丸谷泰寿：第18回UV／EB表面加工入門講座（2006）。
- 4) 印刷インキ工業連合会ホームページ，<http://www.ink-jpima.org/>
- 5) 日本WPAホームページ，<http://www.waterless.jp/>

Introduction of UV Curing Type Ink and the Future View

Masataka NANBA^{*,†}

**TOYO INK CO.,LTD., 1 Sakae, Kawagoe, Saitama 350-0803, Japan*

†Corresponding Author, E-mail: masataka.nanba@toyoink.co.jp

(Received September 29, 2011; Accepted January 27, 2012)

Abstract

UV curing type ink begins a chemical reaction by UV irradiation, and hardens. The ink film has bridge construction structure, and it has tough tolerance. UV curing type ink is used for various uses by this characteristic, and that use track record is expanded. Moreover, as the measure for environmental correspondence of power-saving, CO₂ reduction, in the latest printing market, development of the system which combined LED lamp (LED-UV) and LED curing type ink, and the system which combined a ozon-less type lamp and UV curing high sensitivity ink is progressing, and it is beginning to be used. This paper describes the basic knowledge of UV hardening type ink, and the view of the future of UV hardening type ink.

Key-words: *UV curing type ink, LED curing type ink, UV curing high sensitivity ink*