

잉크의 중첩인쇄순서에 기인하는 색차의 광학적 해석에 관한 연구

姜 相 薰

부경대학교 인쇄정보공학과

(1998년 5월20일 받음, 1998년 6월25일 최종수정본 받음)

A Study on Optical Analysis of the Color Difference Caused by the Overprinting Sequence of Ink

Sang-Hoon Kang

Dept. of Graphic Arts Information, Pukyong National University

(Received 20 May 1998, in final form 25 June 1998)

Abstract

The color difference caused by the overprinting sequence of ink in multi-color printing is due to both trapping and optical properties of ink layers. Hence the effect of optical properties only cannot be analyzed without removing the effect of ink trapping.

This study was carried out for the purpose of analyzing optically the color difference caused by only the optical properties of ink under the various printing sequence. The present optical analysis for overprints showed a good agreement with the experimental result. It is expected that this study may contribute to decreasing the color difference between the original and the printed reproduction in multi-color printing.

1. 서 론

프로세스 컬러잉크(process color ink)를 사용하는 다색 중첩인쇄에서 각 잉크의 인쇄순서를 결정하는 것은 매우 중요한 문제이다. 인쇄순서에 영향을 미치는 일반적인 요인은 작업성과 발색성으로 대별할 수 있다. 저품위 인쇄에서는 작업성이 우선하지만 고품위 인쇄에서는 발색성을 우선적으로 고려하지 않으면 안된다.

모든 작업조건이 일정한 경우에 컬러 인쇄물의 발색성은 결국 잉크의 특성에 의존하게 된다. 잉크의 특성 중에서 실제의 다색 중첩인쇄 과정에서 인쇄물의 색 재현에 영향을 끼치는 주된 요인은 각 잉크의 트래핑(trapping) 특성과 광학적 특성을 들 수 있다. 잉크의 트래핑율(percentage or fractional trap)이 변하면 각 중첩 잉크층의 두께가 달라지므로 색차가 발생함은 당연하며, 잉크의 트래핑율은 먼저 인쇄된 잉크층이 다음 잉크를 받아들이는 능력, 즉 잉크 수용성(ink receptivity)에 의존하므로 잉크 수용성이 서로 다른 잉크들끼리의 중첩인쇄에서는 인쇄순서와 관계가 있다. 또한 잉크(색)의 종류에 따라서 투명도, 불투명도, 반사율 등의 광학적 성질이 다르므로 인쇄순서에 따라 각 잉크의 광학적 성질의 차이에 의한 색차(color difference)가 발생하게 된다.

그러므로 잉크의 광학적 성질이 인쇄순서에 기인하는 색차에 대한 영향을 분석하기 위해서는 먼저 잉크의 트래핑율을 일정하게 유지시키지 않으면 안된다. 그러나 종이 위에 직접 각 잉크를 차례대로 중첩시키는 실제의 중첩인쇄에서는 인쇄순서에 따라 트래핑율을 일정하게 유지시키는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 종이 대신에 투명필름을 사용하여 각 잉크를 한 층씩 인쇄한 다음에 서로 순서를 바꾸어 중첩시킴으로써 트래핑율을 100%로 일정하게 유지하였다.

인쇄물의 색을 광학적으로 해석한 선행연구 중에서 주목할 만한 것으로는 Clapper와 Yule⁽¹⁾, Yan Liu⁽²⁾ 및 Kang⁽³⁾의 논문이 있다. Clapper 등의 연구는 망점 인쇄물의 망점과 여백에서의 전체반사율을 처음으로 등비급수의 개념을 도입하여 표면반사 성분과 다중내부반사(multiple internal reflection) 성분의 합으로 표시하였으나 중첩인쇄에 대한 해석에는 이르지 못하고 있다. Yan Liu의 연구는 중첩인쇄물의 색을 각 잉크층의 분광반사율의 곱으로 표현할 수 있는 가능성을 제시하였으나 실제의 중첩인쇄물에서 나타나는 복잡한 광학적 현상을 지나치게 단순화 함으로써 신뢰성에 문제가 있다.

한편 Kang의 연구에서는 중첩인쇄의 인쇄순서에 의한 색차를 처음으로 잉크 트래핑의 영향을 완전히 배제하고 순수한 잉크의 광학적 특성만으로 해석하고, 실제의 적용과정에서 전체적인 경향을 통하여 해석 자체의 타당성은 입증하였으나 실험적으로 구하기 어려운 일부의 미소한 광학적 특성들의 영향을 무시함으로써 인쇄순서에 기인하는 색차에 대한 실험적 규명에는 이르지 못하고 있다.

본 연구에서는 중첩인쇄물의 색에 대한 새로운 광학적 해석과 실험을 통하여 저자의 이전의 연구에서 검토하지 못한 미소한 광학적 특성들까지 고려함으로써 인쇄순서에 기인하는 색차를 규명하여, 실제의 인쇄공정에서 컬러원고와 인쇄물 사이의 색차를 줄이는데 기여코자 하였다.

2. 인쇄순서에 의한 색차의 광학적 해석

일반적으로 어떤 색의 측색적 표시에서는 3자극치(tristimulus value) X, Y, Z가 널리 사용되며, 이것을 기초로 하여 여러 가지 형태의 균등 색공간(uniform color space) 상의 색도 좌표(chromaticity coordinate)로 변환시켜 두 색 사이의 색차를 일률적으로 표현하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다.

비교하고자 하는 두 색의 3자극치가 같으면 일반적으로 등색으로 간주하지만, 이 경우에도 메타머리즘(metamerism)을 고려하면 엄밀한 의미에서는 등색으로 볼 수 없다. 두 색의 분광반사율 곡선이 일치해야만 비로소 완전한 등색이 되는 것이다. 따라서 본 연구에서의 광학적 특성들은 모두 분광특성으로 나타내기로 한다.

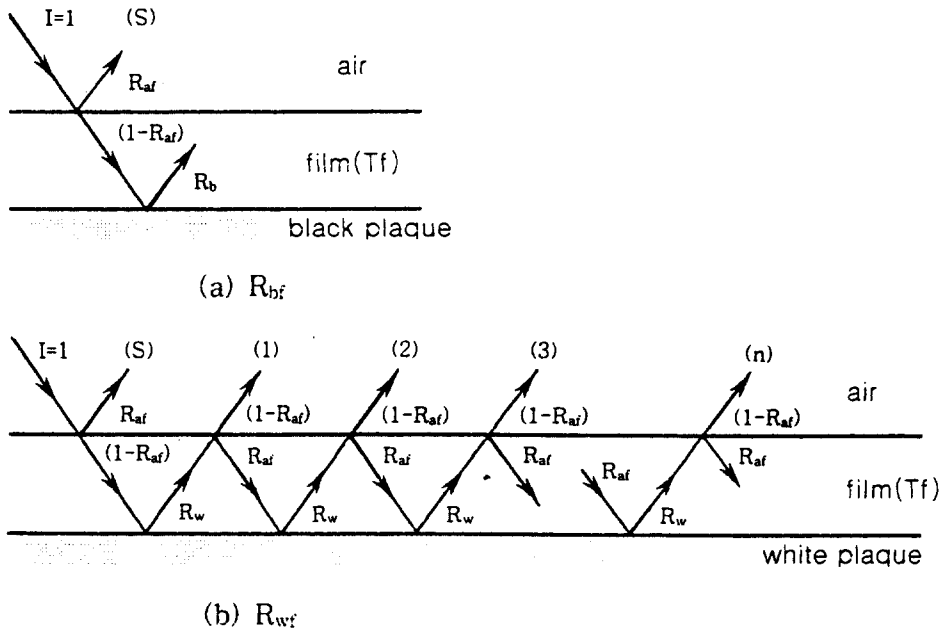


Fig.1. Reflection mechanism of transparent film on black plaque(a) and white plaque(b).

Fig.1(a)는 투과율이 T_f 인 투명필름을 흑색 흡광체(black plaque) 위에 놓았을 때의 입사광의 반사과정을 도시한 것이다. 이 때 흡광체를 완전 흑체(black body)라 가정하면 흡광체의 반사율 R_b 가 0이 되므로 전체 분광반사율 R_{bf} 는 식(1)과 같이 표시된다.

$$R_{bf} = R_{af} \quad (1)$$

그런데 굴절률이 n_1, n_2 인 두 물체의 계면에서의 수직 입사광의 반사율은 식(2)와 같이 Fresnel의 식⁽⁴⁾으로 표시된다. 이 식에서 n_1 과 n_2 의 값이 바뀌어도, 즉 입사광의 방향이 정반대가 되어도 반사율의 크기는 변함이 없으므로 계면의 양 쪽에서의 반사율, 즉 외부반사율(external reflectance)과 내부반사율(internal reflectance)이 같게 된다. 입사각이 수직이 아닌 경우에도 굴절율의 비가 1.5인 공기와 유리의 계면에서의 반사율을 입사각과 투과각을 고려한 Fresnel의 식으로 계산한 결과에 의하면 0~60도의 입사각 범위에서는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 이하의 인쇄물의 분광반사율에 대한 광학적 해석에서는 모든 계면의 양면에서의 반사율이 같다고 가정하고 동일한 기호로 표시하기로 한다.

$$R = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (2)$$

Fig.1(b)는 투명필름을 백색 반사체(white plaque) 위에 놓았을 때의 입사광의 반사기구를 표면반사와 다중내부반사 과정으로 도시한 것이다. 전체 분광반사율 R_{wf} 는 표면반사성분 (s)와 다중내부반사성분 (1), (2),(n)의 합으로 표시되므로 다중내부반사성분의 합을 등비급수로 구하여 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

- (s) : R_{af}
- (1) : $(1 - R_{af})^2 R_w T_f^2$
- (2) : $(1 - R_{af})^2 R_w T_f^2 \times R_{af} R_w T_f^2$
- (n) : $(1 - R_{af})^2 R_w T_f^2 \times (R_{af} R_w T_f^2)^{n-1}$

$$R_{wf} = R_{af} + \frac{(1 - R_{af})^2 R_w T_f^2}{1 - R_{af} R_w T_f^2} \quad (3)$$

식(3)을 T_f 에 대하여 정리하면 식(4)가 되므로 필름의 투과율을 구할 수 있다.

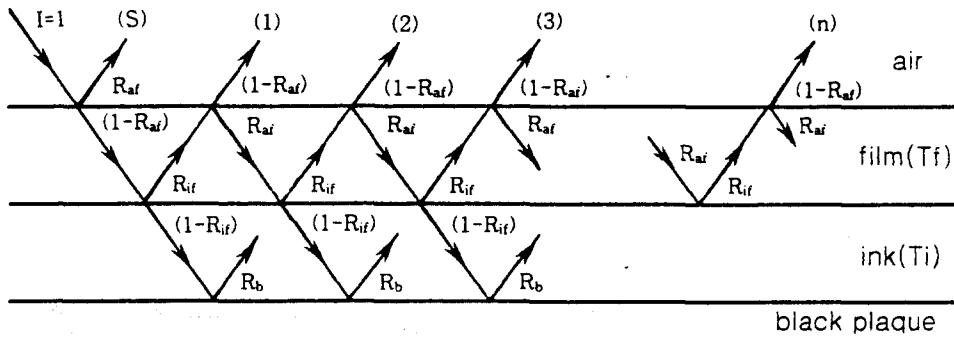
$$T_f^2 = \frac{R_{wf} - R_{bf}}{R_w(1 - 2R_{bf} + R_{wf}R_{bf})} \quad (4)$$

Fig.2(a)는 투명필름 표면에 임의의 잉크를 인쇄하여 흑색 흡광체 위에 잉크층, 필름의 순으로 밑에서부터 중첩시킨 상태에서의 반사기구를 도시한 것이다. 흡광체의 반사율 R_b 를 0으로 가정하면 식(3)에서와 같은 방법으로 반사율 R_{bf} 는 식(5)와 같이 표시된다.

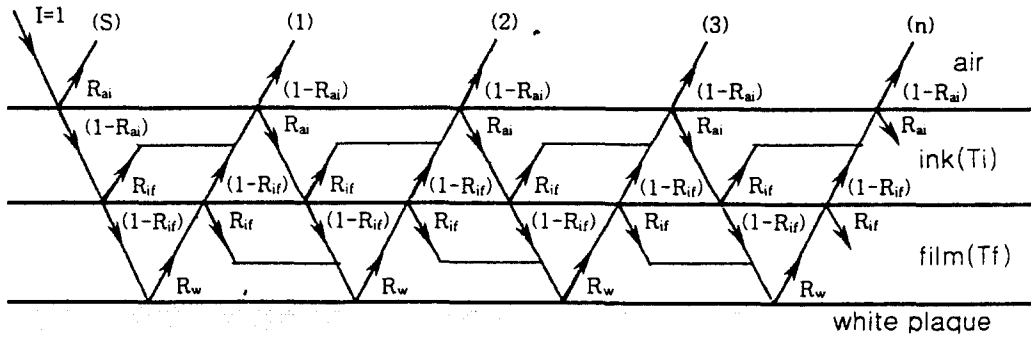
$$R_{bf} = R_{af} + \frac{(1 - R_{af})^2 R_{if} T_f^2}{1 - R_{af} R_{if} T_f^2} \quad (5)$$

다시 식(5)를 R_{if} 에 대하여 정리하면 식(6)이 되므로 잉크와 필름의 계면에서의 반사율을 구할 수 있다.

$$R_{if} = \frac{R_{bif} - R_{bf}}{T_i^2(1-2R_{bf}+R_{bif}R_{bf})} \quad (6)$$



(a) R_{bif}



(b) R_{wfi}

Fig.2. Reflection mechanism of transparent film printed with ink on black plaque(a) and white plaque(b).

Fig.2(a)에서 잉크층과 필름층의 위치를 바꾸어 같은 방법으로 R_{bfi} 를 구하면 식(7)이 된다.

$$R_{bfi} = R_{ai} + \frac{(1-R_{ai})^2 R_{if} T_i^2}{1-R_{ai} R_{if} T_i^2} \quad (7)$$

Fig.2(b)는 투명필름 표면에 임의의 잉크를 인쇄하여 백색 반사체 위에 잉크층, 필름의 순으로 밑에서부터 중첩시킨 상태에서의 반사기구를 도시한 것이다. 식(3)과 같은 방법으로 표면반사와 다중내부반사 성분으로부터 전체 분광반사율 R_{wfi} 를 구하면 식(8)이 된다.

(S) : R_{ai}

$$(1) : \{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} (1-R_{ai})^2 T_i^2$$

$$(2) : \{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} (1-R_{ai})^2 T_i^2 \times \{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} R_{ai} T_i^2 + (1-R_{ai})^2 (1-R_{if})^2 R_w^2 R_{if} T_f^4 T_i^2$$

$$(3) : \{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} (1-R_{ai})^2 T_i^2 \times [\{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} R_{ai} T_i^2]^2 + (1-R_{ai})^2 (1-R_{if})^2 R_w^2 R_{if} T_f^4 T_i^2 \times R_w R_{if} T_f^2$$

$$(n) : \{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} (1-R_{ai})^2 T_i^2 \times [\{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} R_{ai} T_i^2]^{n-1} + (1-R_{ai})^2 (1-R_{if})^2 R_w^2 R_{if} T_f^4 T_i^2 \times (R_w R_{if} T_f^2)^{n-2}$$

$$R_{wfi} = R_{ai} + \frac{\{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} (1-R_{ai})^2 T_i^2}{1 - \{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} R_{ai} T_i^2} + \frac{(1-R_{ai})^2 (1-R_{if})^2 R_w^2 R_{if} T_f^4 T_i^2}{1 - R_w R_{if} T_f^2} \quad (8)$$

식(8)의 셋째항은 1보다 작은 값을 12회 곱하는 형태가 되어 근사적으로 0으로 볼 수 있으므로 식(8')로 고쳐쓸 수 있다.

$$R_{wfi} = R_{ai} + \frac{\{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} (1-R_{ai})^2 T_i^2}{1 - \{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} R_{ai} T_i^2} \quad (8')$$

식(7)과 (8')으로부터 T_i 를 소거하고 R_{ai} 에 대하여 2차방정식으로 정리하여 근의 공식을 사용하여 R_{ai} 를 구하면 식(9)와 같이 되므로 잉크와 공기의 계면에서의 반사율을 구할 수 있다.

$$R_{ai} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (9)$$

$$a : (2-R_{wfi})\{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} - (2-R_{bfi})R_{if}$$

$$b : (-2R_{bfi} + R_{bfi}R_{wfi} - 1)\{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} + (2R_{wfi} - R_{bfi}R_{wfi} + 1)R_{if}$$

$$c : R_{bfi}\{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} - R_{wfi}R_{if}$$

다시 식(8)을 T_i 에 대해 정리하면 식(10)이 되므로 이 식으로부터 잉크층의 투과율을 구할 수 있다.

$$T_i = \left[\frac{R_{wfi} - R_{ai}}{\{ R_{if} + (1-R_{if})^2 R_w T_f^2 \} (1 - 2R_{ai} + R_{wfi}R_{ai})} \right]^{0.5} \quad (10)$$

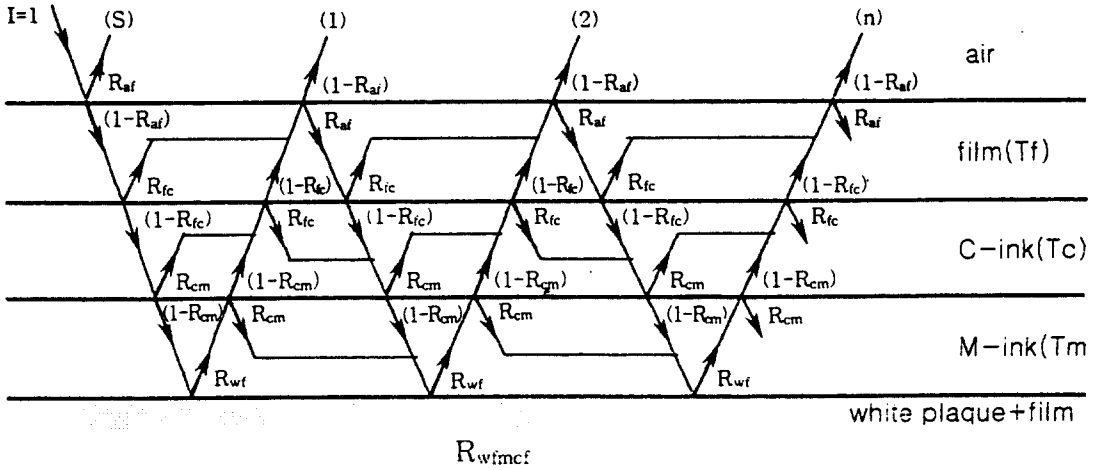


Fig.3. Reflection mechanism of transparent film printed with C and M inks on white plaque plus transparent film.

Fig.3은 투명필름 표면에 C(cyan)잉크를 인쇄하고 그 위에 다시 M(magenta)잉크를 중첩 인쇄한 2색 인쇄물을 백색 반사체 위에 M잉크, C잉크, 필름의 순으로 밑에서부터 차례로 중첩시킨 경우의 반사기구를 도시한 것이다. 식(8')과 같은 방법으로 전체 분광반사율 R_{wtmcf} 를 구하면 식(11)이 된다.

$$R_{wtmcf} = R_{af} + \frac{\{R_{fc} + (1-R_{fc})^2 R_{cm} T_c^2 + (1-R_{fc})^2 (1-R_{cm})^2 R_{wf} T_c^2 T_m^2\} (1-R_{af})^2 T_f^2}{1 - \{R_{fc} + (1-R_{fc})^2 R_{cm} T_c^2 + (1-R_{fc})^2 (1-R_{cm})^2 R_{wf} T_c^2 T_m^2\} R_{af} T_f^2} \quad (11)$$

여기서 M잉크와 C잉크의 인쇄순서 변화에 의한 분광반사율의 변화, 즉 색차를 해석하기 위하여 Fig.3에서 M잉크와 C잉크의 인쇄순서만 바꾸고 나머지 조건들은 모두 동일하게 유지한 상태에서의 분광반사율 R_{wtmcf} 를 구하면 식(12)가 된다.

$$R_{wtmcf} = R_{af} + \frac{\{R_{fm} + (1-R_{fm})^2 R_{cm} T_m^2 + (1-R_{fm})^2 (1-R_{cm})^2 R_{wf} T_c^2 T_m^2\} (1-R_{af})^2 T_f^2}{1 - \{R_{fm} + (1-R_{fm})^2 R_{cm} T_m^2 + (1-R_{fm})^2 (1-R_{cm})^2 R_{wf} T_c^2 T_m^2\} R_{af} T_f^2} \quad (12)$$

마지막으로 식(11)을 R_{cm} 에 대해 2차방정식으로 정리하여 근의 공식을 사용하여 R_{cm} 을 구하면 식(13)이 되므로 C잉크층과 M잉크층의 계면에서의 반사율을 구할 수 있게 되어 식(11)과 (12)의 모든 광학적 특성들을 구할 수가 있다.

$$R_{cm} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} a &: (1-2R_{af}+R_{wfmc}R_{af})(1-R_{fc})^2R_{wf}T_c^2T_m^2T_r^2 \\ b &: (1-2R_{af}+R_{wfmc}R_{af})(1-R_{fc})^2(1-2R_{wf}T_m^2)T_c^2T_r^2 \\ c &: (1-2R_{af}+R_{wfmc}R_{af})\{R_{fc}+(1-R_{fc})^2R_{wf}T_c^2T_m^2\}T_r^2+R_{af}-R_{wfmc} \end{aligned}$$

식(11)과 (12)를 비교하면 두 식은 분명히 서로 다른 식임을 확인할 수 있으며, 이것은 동일한 M잉크와 C잉크의 중첩인쇄에서도 두 잉크의 인쇄순서가 바뀌면 색도 달라질 수 있음을 이론적으로 나타낸 것이다. 이 식들의 타당성이 실험적으로 입증된다면 그동안 인쇄현장에서 경험적으로만 알려져 있던 인쇄순서에 의한 색차를 이론적으로 구명할 수 있는 최초의 해석이 될 것이다.

식(11) 및 식(12)를 종이 위에 C, M, Y의 3가지 잉크를 임의의 순서로 중첩인쇄하는 모든 경우에 대하여 일반식으로 표시하면 식 (14)와 같이 된다. 여기서 하첨자 p와 1, 2, 3 및 a는 각각 피인쇄체인 종이와 각 인쇄순서에 해당하는 잉크의 색 및 잉크층 표면의 공기를 나타내며, R_{xy} 는 임의의 두 물질 x와 y의 계면에서의 분광반사율을 표시한다. 이 식은 피인쇄체의 분광반사율, 각 잉크의 분광투과율, 각 중첩잉크층의 계면에서의 분광반사율 및 분광표면반사율을 측정함으로써 모든 중첩인쇄순서의 인쇄물에 대한 색의 예측이 가능함을 보여준다.

$$R_{p123} = R_{3a} + \frac{\{R_p(1-R_{12})^2(1-R_{23})^2T_1^2T_2^2+R_{12}(1-R_{23})^2T_2^2+R_{23}\}(1-R_{3a})^2T_3^2}{1-\{R_p(1-R_{12})^2(1-R_{23})^2T_1^2T_2^2+R_{12}(1-R_{23})^2T_2^2+R_{23}\}R_{3a}T_3^2} \quad (14)$$

3. 실험

3.1. 인쇄 조건

본 연구에서 시험편으로 사용한 모든 인쇄물은 "Heidelberg GTOZP" 2색 인쇄기의 제1유닛만을 사용하여 아래와 같은 동일한 인쇄조건 하에서 단색인쇄를 실시하였다.

- (1) 인쇄판 : Fuji PS plate 0.2mm
- (2) 블랭킷 : REEVES Vulcan 714 Compressible Blanket 1.9mm
- (3) 인쇄용 투명필름 : XEROX OHP film BOLD AND GOLD 210×297mm
- (4) 인쇄잉크 : 한국특수잉크 Best-one Magenta, Cyan
- (5) 인쇄압력(블랭킷 압축량) : 0.07mm
- (6) 인쇄속도 : 4000rpm

3.2. 분광반사율 및 색차 측정

각 인쇄물의 분광반사율 및 색차는 “MINOLTA CM-2002” 분광측색계(spectrophotometer)를 사용하여 측정하였다. 투명필름의 반사체 및 흡광체로는 “DAINIPPON SCREEN DM-400” 반사농도계용 백색 및 흑색 표준농도판(white or black plaque)을 사용하였다.

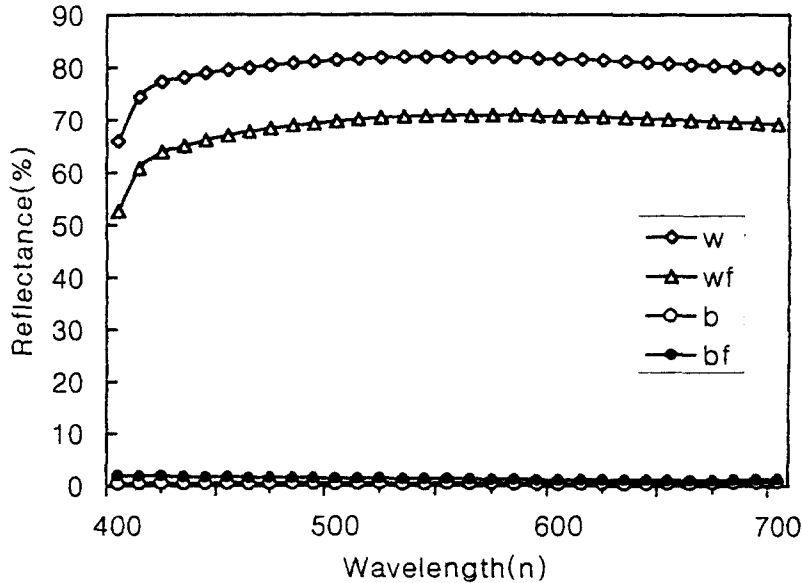


Fig.4. Spectral reflectance curves of white and black plaques and transparent film on the plaques.

분광측색계의 광원은 D_{50} , 2° 시야 (CIE 1931 observer)를 사용하였으며, 표면반사 중의 경면반사성분을 제외하기 위하여 SCE(specular component excluded) 상태에서 3회의 자동 반복측정에 의한 평균치를 측정하였다.

반사율은 400~700nm 영역을 10nm씩 등간격으로 각 31개의 분광반사율을 측정하였으며 색차는 CIELAB 색차 ΔE_{ab}^* 를 구하였다.

Fig.4는 본 연구의 실험에서 백색 반사체(w), 흑색 흡광체(b) 및 피인쇄체로 사용한 투명필름(f)의 분광반사율을 분광측색계로 측정한 결과를 나타낸 것이다. 흡광체만의 반사율은 완전흑체의 반사율 0에는 이르지 못하지만 0.0046~0.0093 사이의 무시할 수 있을 정도로 낮은 값을 알 수 있다. 그러나 흡광체 위에 투명필름을 중첩시킨(wf) 경우에는 반사율이 0.0117~0.0198로 다소 높아짐을 보여준다.

4. 실험결과 및 고찰

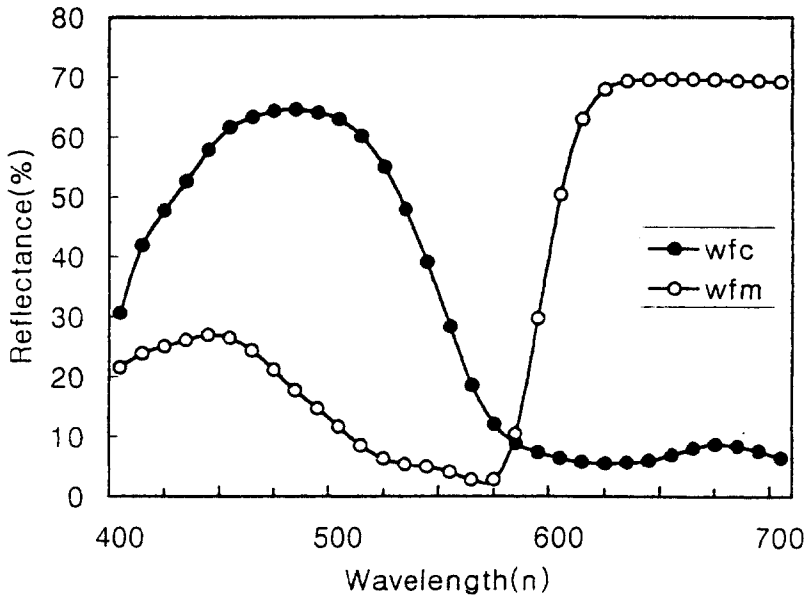
Fig.5(a)는 본 연구의 중첩민쇄 실험에서 사용한 C잉크와 M잉크의 분광특성을 확인하기 위하여 Fig.4와 같은 분광특성을 가지는 투명필름 위에 각 잉크를 민쇄하여 역시 Fig.4에서 도시한 바와 같은 분광특성의 백색 반사체 위에 밑에서부터 반사체, 투명필름, 잉크층의 순으로 중첩하여 분광측색계로 측정된 결과를 도시한 것이다. 두 잉크 모두 프로세스 컬러인쇄용 C잉크와 M잉크의 일반적인 분광특성을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig.5(b)는 C잉크와 M잉크의 2색 중첩민쇄에서 인쇄순서만에 의한 중첩인쇄물의 색차를 확인하기 위하여 반사체와 투명필름들의 중첩위치를 일정하게 유지하면서 두 잉크층의 중첩순서만 달리하여 측정된 분광반사율곡선을 도시한 것이다. 예상했던 바와 같이 인쇄순서에 따라서 상당한 분광반사율의 차이가 나타남을 알 수 있다.

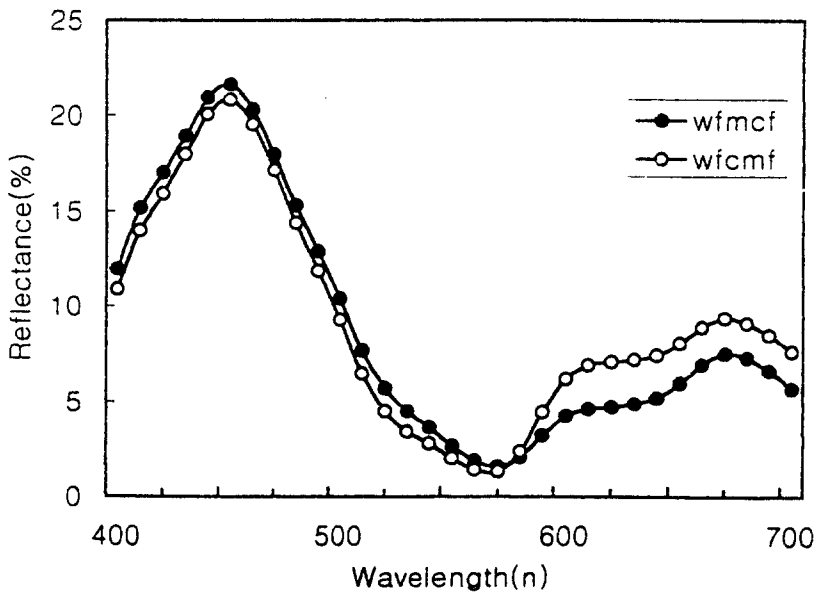
〈Table 1〉은 Fig.5(b)의 측정결과를 포함하여 반사체와 투명필름들의 중첩위치는 일정하게 하고 두 잉크층의 중첩순서를 변화시킨 4쌍의 중첩인쇄물 사이의 색차를 현재 인쇄물의 색차 표시에 널리 이용되고 있는 CIE LAB 색차, 즉 ΔE_{ab}^* 로 나타낸 것이다. 어느 경우에서도 인쇄물의 허용 색차한계 2~4⁽⁵⁾를 초과함으로써 인쇄순서에 의한 색차관리의 중요성을 보여준다.

Table 1. Color differences between the specimens with C+M or M+C printing sequence

specimen	wfcfm	wcfmf	wcffm	wfcmf
target	wfmfc	wmfcf	wmffc	wfmcf
ΔE_{ab}^*	7.27	6.51	9.97	8.92

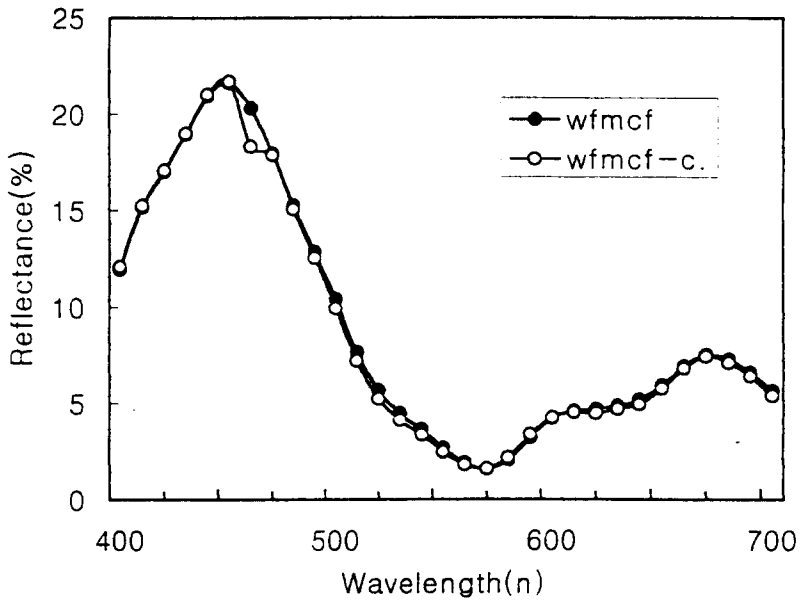


(a) M and C

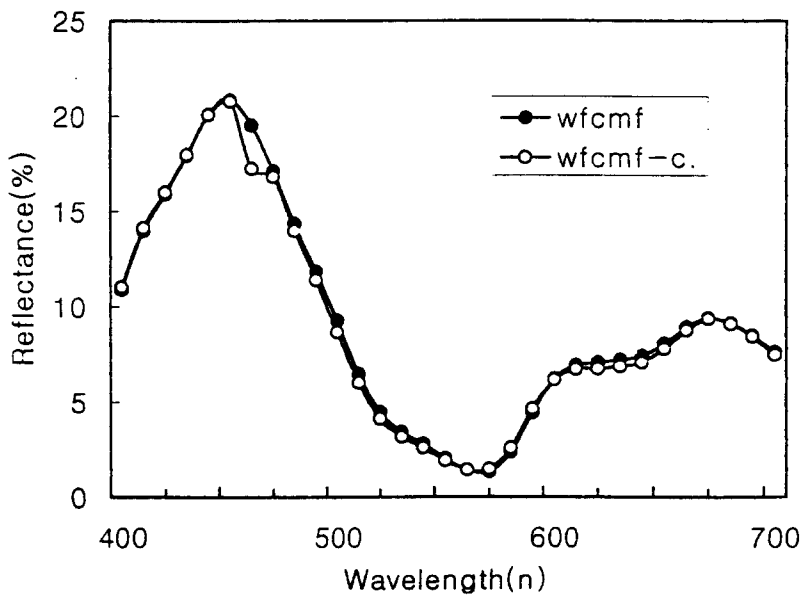


(b) M+C and C+M

Fig. 5. Comparisons between the spectral reflectance curves of M and C inks(a), and M+C and C+M overprints(b).



(a) M+C



(b) C+M

Fig.6. Comparisons between the measured and calculated spectral reflectance curves for M+C(a) and C+M(b) printing sequence.

Fig.6(a),(b)는 <Table 1>에서와 같은 인쇄순서만에 기인하는 색차의 발생기구를 구명하기 위하여 2장에서 광학적으로 해석한 식(11) 및 식(12)를 이용하여 각각 wfcmf와 wfcmf의 중첩인쇄순서에 대하여 400~700nm 사이에 10nm의 등간격으로 31개의 분광반사율을 Appendix와 같이 계산하여 구한 가상적인 중첩인쇄물 wfcmf-c. 및 wfcmf-c.와 같은 인쇄순서의 실제 중첩인쇄물 wfcmf 및 wfcmf와의 분광반사율을 비교하여 도시한 것이다. Fig.6(a),(b) 모두 분광반사율의 계산치가 측정치와 매우 유사한 분광반사율곡선을 나타냄을 알 수 있다.

실제로 양자 사이의 색차를 구하면 <Table 2>와 같이 1 전후의 매우 작은 값으로 나타났다. 이것은 2장에서 인쇄순서에 의한 색차의 발생기구에 대한 광학적 해석방법의 타당성을 실험적으로 입증하는 것이다.

Table 2. Color differences between the measured and calculated specimens

specimen	wfcmf	wfcmf
target	wfcmf-c.	wfcmf-c.
ΔE_{ab}^*	1.16	0.74

5. 결론

다색 중첩인쇄에서 잉크 트랩의 영향을 완전히 배제하고 순수하게 잉크의 중첩인쇄순서가 인쇄물의 색재현에 미치는 영향을 구명하기 위하여 실시한 광학적 해석과 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 잉크의 트래핑율이 일정한 경우에도 중첩잉크의 인쇄순서에 따라서 허용범위 이상의 큰 색차가 발생함을 확인하였다.
- (2) 중첩잉크의 인쇄순서에 기인하는 색차의 발생기구를 다중내부반사를 고려한 광학적 해석을 통하여 규명할 수 있다.
- (3) 피인쇄체의 분광반사율, 각 잉크의 분광투과율, 각 중첩잉크층의 계면에서의 분광반사율 및 분광표면반사율을 측정함으로써 모든 중첩인쇄순서의 3색중첩인쇄물에 대한 색을 다음 식에 의하여 예측할 수 있다.

$$R_{p123} = R_{3a} + \frac{\{R_p(1-R_{12})^2(1-R_{23})^2T_1^2T_2^2+R_{12}(1-R_{23})^2T_2^2+R_{23}\}(1-R_{3a})^2T_3^2}{1-\{R_p(1-R_{12})^2(1-R_{23})^2T_1^2T_2^2+R_{12}(1-R_{23})^2T_2^2+R_{23}\}R_{3a}T_3^2}$$

- (4) 고품위 컬러인쇄에서는 교정인쇄과정에서 중첩인쇄순서를 명시함으로써 원고와 인쇄물 사이의 색차를 줄일 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) F. R. Clapper and J. A. C. Yule, "The Effect of Multiple Internal Reflections on the Densities of Half-tone Prints on Paper", J. of the Optical Society of America, Vol.43, No.7, pp.600-603(1953).
- 2) Yan Liu, "Spectral Reflectance Modification of Neugebauer Equations", TAGA Proceedings, pp.154-172(1991).
- 3) S. Kang, "A Study on Optical Analysis and Overprinting Sequence in 2-Color Solid Overprints", J. of the Korean Printing Society, Vol.15, No.2, pp.1-14(1997).
- 4) Eugene Hecht, "OPTICS-Second Edition", Addison-Wesley Publishing Co., pp.94-113(1987).
- 5) Gary G. Field, "Color and Its Reproduction", Graphic Arts Technical Foundation, pp.133-149(1992).

Appendix. Measured and calculated optical properties used in eqs. (11) and (12) for Fig.6 and Table 2

Wavelength(nm)	Rwl	Ra(=Rbf)	Ric=Rcf	Rim=Rmi	Rcm=Rmc	Tl	Tm	Tc	Rwlmc1-m	Rwlmc1-c	Rwlcm1-m	Rwlcm1-c
400	0.5264	0.0198	0.0229	0.0044	0	0.8893	0.6182	0.7574	0.1195	0.1211	0.109	0.1102
10	0.608	0.0193	0.0251	0.0044	0	0.9018	0.603	0.8305	0.1518	0.1526	0.1398	0.1413
20	0.6383	0.0188	0.0252	0.0045	0	0.9076	0.6036	0.867	0.1702	0.171	0.1591	0.1601
30	0.6509	0.0182	0.0255	0.0048	0	0.9111	0.611	0.9034	0.1894	0.1899	0.1796	0.1797
40	0.6622	0.0175	0.0264	0.0056	0	0.9142	0.6171	0.9411	0.2096	0.2103	0.2009	0.2008
50	0.6703	0.0171	0.0262	0.0058	0	0.917	0.6076	0.9657	0.2162	0.2169	0.2083	0.2078
60	0.6779	0.0165	0.0246	0.0049	0.001	0.9193	0.5401	0.9739	0.2032	0.1834	0.1953	0.1727
70	0.6839	0.0161	0.0232	0.0038	0.0001	0.921	0.5294	0.9761	0.1796	0.1787	0.1714	0.1684
80	0.6894	0.0158	0.0214	0.0027	0.0001	0.9225	0.4763	0.9738	0.1529	0.1509	0.1436	0.1399
90	0.6932	0.0155	0.0198	0.0019	0.0001	0.9237	0.4255	0.9673	0.1288	0.1254	0.1185	0.114
500	0.6978	0.015	0.0184	0	0.0001	0.925	0.3682	0.9553	0.1041	0.0995	0.0927	0.0867
10	0.7014	0.0146	0.0166	0.0003	0	0.926	0.2991	0.9302	0.0767	0.0722	0.0647	0.0601
20	0.7041	0.0142	0.0144	0	0	0.9269	0.2415	0.8863	0.0568	0.0524	0.0448	0.0411
30	0.7068	0.0137	0.0121	0.0002	0	0.9278	0.2111	0.8242	0.045	0.0413	0.0343	0.0318
40	0.7074	0.0135	0.0096	0.0001	0	0.9282	0.1953	0.7401	0.0365	0.0337	0.0279	0.026
50	0.7082	0.0135	0.0066	0	0	0.9288	0.1586	0.624	0.0268	0.0248	0.0202	0.0193
60	0.7084	0.0133	0.0046	0.0001	0	0.9292	0.0745	0.4942	0.019	0.018	0.0142	0.0142
70	0.7092	0.0131	0.0035	0.0019	0	0.9283	0.0092	0.3862	0.0158	0.016	0.0133	0.0147
80	0.7092	0.0126	0.0032	0.0081	0	0.9302	0.3258	0.3203	0.0207	0.0218	0.0237	0.0258
90	0.7086	0.0122	0.0031	0.0186	0	0.9305	0.6307	0.2836	0.0323	0.0339	0.0443	0.0464
600	0.7077	0.0121	0.0031	0.0271	0	0.9306	0.8408	0.2581	0.0423	0.0427	0.062	0.0617
10	0.7069	0.012	0.0031	0.0306	0.0005	0.9307	0.9446	0.2405	0.0462	0.0453	0.0692	0.0672
20	0.7059	0.0118	0.0032	0.0311	0.0007	0.931	0.9822	0.2308	0.0472	0.045	0.0708	0.0675
30	0.705	0.0119	0.0032	0.0303	0.0008	0.9311	0.9923	0.2355	0.0489	0.047	0.0721	0.0688
40	0.7024	0.0117	0.0034	0.0294	0.0009	0.9313	0.9916	0.2461	0.052	0.0496	0.0743	0.0707
50	0.7007	0.0117	0.0032	0.0286	0.0013	0.9312	0.9971	0.2717	0.0596	0.0578	0.0807	0.078
60	0.6991	0.0119	0.0035	0.0279	0.0018	0.9311	0.9983	0.3022	0.0694	0.0683	0.0891	0.0877
70	0.6975	0.0123	0.0031	0.0274	0.0022	0.9312	0.9985	0.3189	0.0752	0.0744	0.0939	0.0937
80	0.6954	0.0127	0.0023	0.027	0.002	0.9311	0.9987	0.3118	0.0728	0.0713	0.0911	0.0909
90	0.6938	0.0134	0.0013	0.0265	0.0016	0.9311	0.9997	0.2922	0.0661	0.0643	0.0848	0.0843
700	0.6915	0.0145	0	0.0259	0.0011	0.9312	1	0.2607	0.0566	0.0541	0.0761	0.0747