

패키지 인쇄에 있어서 Kubelka-Munk Model 유래의 산란 및 흡수 계수를 이용한 색상 재현성 예측

현영주 · 박재상 · 태현철*

한국생산기술연구원

Prediction of Color Reproduction using the Scattering and Absorption Coefficients derived from the Kubelka-Munk model in Package Printing

Young-joo Hyun, Jae-sang Park, and Hyun-chul Tae*

Korea Institute of Industrial Technology

Abstract With the development of package printing technology, the package has expanded from the basic function of protecting products to the marketing function through package design. Color, the visual element that composes the package design, is delivered to the consumer most quickly and effectively. As color marketing of these package designs expands, accurate color reproduction that the product wants to express is becoming more important. The color of an object is transmitted by absorption and scattering of light. Spectral reflectance refers to the intensity of light reflected by an object at different wavelengths by the spectral effect. As a result, the color of the object is expressed in various colors. Packaged printing inks have their own absorption and scattering coefficients, and the Kubelka-Munk model for color reproduction and prediction defines the relationship between these correlation coefficients through reflectance. In the Kubelka-Munk model for color reproduction and prediction, the relationship between the absorption and scattering coefficients (K/S) of printed material is predicted as the sum of the K/S values according to the mixing ratio of all color ink used. In this study, the reflectance of the measured print is reversely calculated at the mixing ratio of print ink using the Kubelka-Munk model. Through this, the relationship value of the ink-specific absorption/scattering coefficient constituting the final printed material is predicted. Delta E is derived through the predicted reflectance, and the similarity between the measured value and the predicted value is confirmed.

Keywords Package printing, Kubelka-Munk model, Scattering/Absorption coefficient, Delta E

서 론

이전의 제품 패키지는 인쇄 기술 및 종이 소재의 기능이 미흡해 내용물을 보관, 파손 방지 등 제품을 보호하고 운반하는 기본적인 기능에 초점을 맞추어왔다. 패키지 기술의 발전과 대량생산이 선행됨에 따라 제품을 보호하는 기본적인 기능에서 다양한 제품들 속에서 차별화를 통해 경쟁적 우위를 점하기 위한 마케팅의 역할로 패키지의 기능이 확대되었다. 이에 따라 패키지는 소비자의 제품 구매 의사결

정에 중대한 영향을 미치는 요인 중 하나로 자리 잡았다¹⁾.

패키지의 디자인적 기능은 브랜드 이미지를 형성하며 브랜드를 차별화하고 소비자의 감성적 욕구를 충족시켜준다. 제품 구입 과정에 있어 소비자는 패키지 디자인으로 브랜드에 대한 심리적 만족감을 얻고, 디자인의 질에 따라 제품 만족도의 차이를 가진다²⁾. 따라서, 패키지 디자인은 브랜드의 인지도와 소비자의 제품 구매에도 큰 영향을 미친다.

제품의 시각적 이미지는 다른 형태의 전달보다 빠르게 소비자에게 전달된다. 패키지 디자인은 브랜드의 로고, 컬러, 제품에 걸맞은 일러스트레이션 등 다양한 시각적 요소들로 구성되어 있다. 브랜드 로고와 색채는 소비자들에게 브랜드의 제품을 인지시키는 대표적인 역할을 하고 일러스트레이션은 제품의 강조하고자 하는 물리적, 심미적 특징을 반영한다.

패키지 디자인을 구성하는 시각적 요소 중 하나인 색채

*Corresponding Author: Tae, Hyun-chul
Korea Institute of Industrial Technology
Tel: +82-10-3811-0728, Fax: 041-5898-480
E-mail: sage@kitech.re.kr

는 각각의 색상이 지니는 상징성을 통해 다양한 제품군들 속에서 소비자의 감정을 자극하여 제품의 특징을 효율적으로 표현할 수 있다. 붉은색의 단일 색상만을 사용해 브랜드 고유의 이미지를 소비자에게 강렬하게 전달하는 코카콜라나 흰색과 파란색의 다양한 색상 조화를 통해 제품이 가진 청량함의 특징을 보여주는 포카리스웨트의 패키지 디자인 등이 있다³⁾. 이러한 색상을 활용한 컬러마케팅은 식품, 화장품, 패션 등의 특정 브랜드뿐만 아니라 산업 전반에 걸쳐 활용되고 있다. 이는 색상을 통해 소비자의 구매 욕구를 자극하는 컬러마케팅이 고객의 제품 선택과 구매력을 결정짓는 중요한 요소임을 보여준다. 제품뿐만 아니라 기업적 측면에서 자사의 비전과 이미지 구축에 있어 색채 이미지는 브랜드 차별화에 중요한 요소이다. 이러한 패키지 디자인의 컬러마케팅이 확대되며, 제품이 표현하고자 하는 색상을 보다 정확하고 선명하게 재현할 수 있는 패키지 포장재 인쇄가 중요시되고 있다.

오프셋 인쇄는 패키지 포장재 인쇄와 같은 상업적 대량, 컬러인쇄에 주로 사용되는 평판 인쇄 방식으로 알루미늄 인쇄판 위에서 서로 혼합되지 않는 성질을 지닌 물과 기름(잉크)의 원리를 사용한다. ‘오프셋’은 잉크가 묻는 인쇄판이 직접적으로 종이에 닿지 않기 때문에 붙은 이름이다. 이는 인쇄판과 고무 롤러를 사용해 종이에 인쇄하는 방식을 사용하며 금속 인쇄판에 칠해진 잉크가 고무 롤러를 통해 종이에 출력되는 방식을 사용한다. 고무 롤러를 통해 잉크가 전달되기 때문에 인쇄판과 종이의 손상이 적어져 더 좋은 인쇄 품질을 얻을 수 있으며 잉크가 묻는 인쇄 부분과 물로 인해 잉크가 묻지 않는 부분으로 나누어 인쇄되기 때문에 단시간 안에 대량의 인쇄를 할 수 있다⁴⁾.

이러한 오프셋 인쇄방식의 색상표현은 반사광 성질을 이용하여 감산혼합의 방법으로 흰색을 제외한 모든 색을 표현하는 CMYK 색 모형(Cyan, Magenta, Yellow, Key(Black))이 사용된다. 이 중 CMY(Cyan, Magenta, Yellow)는 색상을 표현하기 위해 사용되며 검정을 표현하기 위한 K(Key(Black))로 구성된다⁵⁾. 그러나 이뿐만 아니라 인쇄물의 색상 재현은 종이나 잉크 회사, 인쇄 기기의 상태 등 인쇄 환경에 따라 색상 재현에 영향을 미친다. 따라서 인쇄물의 색상 재현 및 예측을 위해 다양한 색채 교정 모델이 요구된다. 망점 이론을 기초로 하는 Neugebauer model(N), Yule-Nilsen model(YN), Clapper-Yule(CY) 모델과 감색 이론을 기초로 한 Beer-Bouguer(BB), Kubelka-Munk(KM) 모델 등이 색 변환을 이용한 색채 교정 모델로 사용된다⁶⁾. 본 연구는 이러한 모델 중 최근 색 재현 및 예측에 많이 사용되는 KM 모델을 사용하고자 한다.

물체의 색상은 빛의 흡수와 산란으로 전달된다. 빛이 물체에 부딪히면 빛의 일부는 흡수되고 다른 일부는 반사된다. 이 과정 중 반사되는 빛에 따라 다양한 색상이 표현된

다.⁷⁾ 물체는 이러한 색광에 따라 다른 파장과 굴절률을 가지며, 스펙트럼 효과에 의해 물체에 반사되는 빛의 파장 별 세기인 분광 반사율에 따라 물체의 색상은 다양하게 표현된다. 따라서 물체가 M(Magenta) 색상으로 보인다면 그 물체가 녹색의 색광은 흡수하고 빨간색과 파란색의 색광은 반사하기 때문이다.

Kubelka-Munk(KM) 모델은 물질 고유의 흡수와 산란 사이의 상관계수를 통해 반사율을 정의하며, 인쇄 잉크 등 투명한 발색 층이 종이나 같은 불투명한 기판 위에 있는 인쇄물에도 잘 부합한다. 이를 통해 본 실험은 패키지 포장재 인쇄물에 사용되는 잉크의 반사율을 측색하여 산란계수와 흡수계수의 비(K/S)로 도출하고 인쇄 잉크의 혼합비를 역산한다. 추정된 잉크 고유의 산란계수와 흡수계수의 비를 통해 최종 인쇄물의 반사율을 예측한다.

인쇄에서 색상의 재현은 장치 의존 색 공간에서 시작하여 장치 독립 색 공간을 거쳐 다시 장치 의존 색 공간으로 재현되는 것을 기본으로 한다. CMYK 색 모형의 색 표현은 상대적이다. 이는 한 인쇄에서 출력된 색상 값을 다른 장치에서 진행할 때 절대적으로 똑같은 색을 재현할 수 없는 장치 의존 색 공간이기 때문이다. 반대로 장치 독립 색 공간은 어떤 장치에서도 같은 색을 재현할 수 있다.⁸⁾ 이러한 절대적인 색 표현 모형인 CIE L*a*b*는 CIE가 제정한 색채 표준으로 사람의 색 인지 능력을 숫자로 표현한 공간 모형이다.⁹⁾ 따라서 예측된 파장별 반사율을 CIE L*a*b*의 색상 계를 통해 색상을 비교한다. 이를 통해 사람의 눈이 색상의 차이를 인식하는 척도인 Delta E(ΔE)를 도출하여 CMYK 색상 재현을 비교하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

1.1. 단일 색상 모델

CMYK 색 모형의 Cyan, Magenta, Yellow, Key black의 4가지 단일 원색 잉크를 임의의 16가지 단계의 농도로 나누고 각 색상의 파장을 30개로 나누어 인쇄물과 종이의 분광 반사율(R)을 측정하였다. 잉크의 농도는 10, 20, 30부터 100%까지 10% 간격으로 10단계로 나누어 측정하고, 구간별로 세부적인 차이가 있는지 확인하고자 추가로 2, 4, 8, 16, 32, 64%의 6단계의 농도로 나누었다. 잉크의 파장은 가시광선 영역인 400 nm~700 nm에서 10 nm의 일정한 간격으로 30단계의 파장으로 나누어 측색을 진행했다.

측색된 CMYK 색상별, 파장/농도별 분광 모형의 반사율은 Fig. 1과 같다. Cyan 색상의 경우 농도 별로 비슷한 파장을 보이나, 500 nm의 파장 부근부터 농도별로 큰 차이를 보인다. 반대로 Magenta와 Yellow 색상에서는 농도별 파장의 후반대에서 비슷한 값으로 수렴해가는 색상 특징을

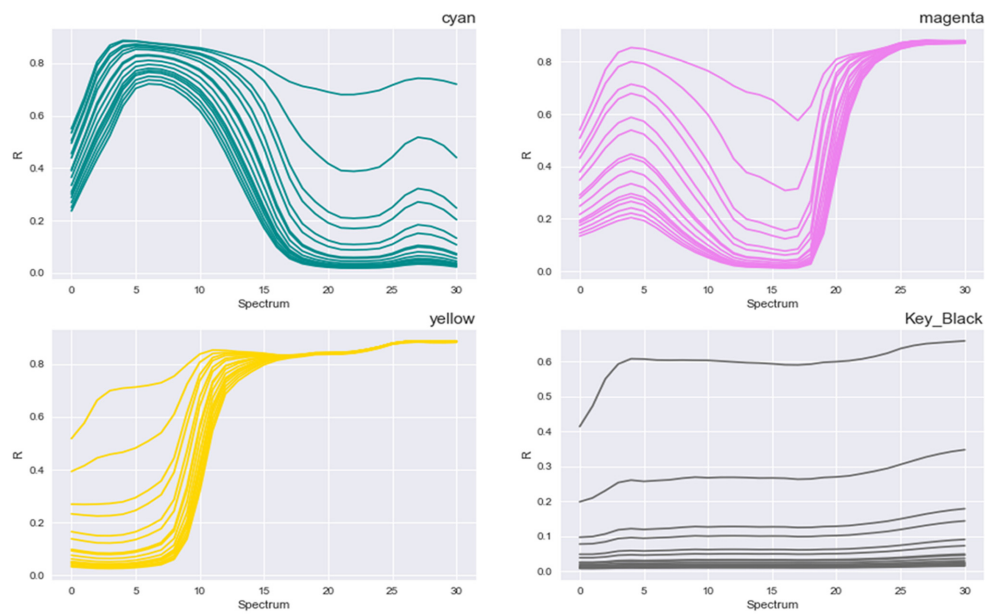


Fig. 1. CMYK spectral reflectance by concentration and wavelength.

확인할 수 있다.

1.2. 혼합 색상 모델

CMYK색 모형의 단일 색상 인쇄물뿐만 아니라, Cyan과 Magenta의 혼합 색상인 Blue 등 혼합된 색상의 인쇄물에 대한 반사율 예측의 한계를 보완하기 위해, CMYK 색 모형에서 두 가지 색상의 혼합 인쇄물에서 추가적인 실험을 진행했다.

이전 실험과 같은 환경에서 CMYK 색 모형의 CM, CY,

CK, MY, MK, YK의 6가지 색 조합의 모델을 각 색상 조합별로 합 10의 비율로 1:9, 2:8부터 9:1의 비율을 나누어 측색을 진행했다. 6가지 농도로 나누고 이전과 같이 각 파장을 400 nm~700 nm에서 10 nm의 일정한 간격으로 30단계로 나누어 인쇄물과 종이의 분광반사율을 측정하였다. 단일 색상 모형의 실험에서는 16가지 단계의 농도로 나누었으나, 이번 실험의 경우 농도 차에 따른 추세를 확인하고자 2, 4, 8, 16, 32, 64%의 6단계의 농도로 나누었다.

Fig. 2는 Cyan과 Magenta 색상 모형의 혼합 비율별 분

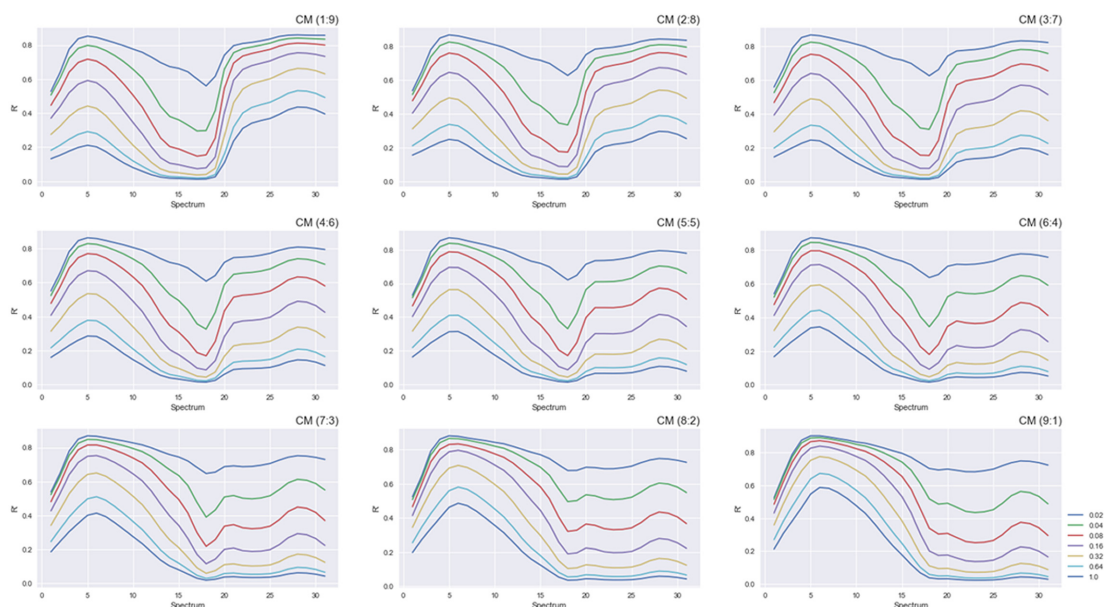


Fig. 2. Reflectance(R) of Cyan and Magenta Mixed Color Models.

광반사를 그래프이다. 이를 통해 Cyan과 Magenta 색상 혼합비에 따른 색상 특징을 확인할 수 있다. 혼합비가 1:9를 가지는 그래프의 경우 Fig. 1의 Magenta 색상 반사율의 그래프와 유사한 형태를 띠며, 반대로 9:1의 혼합비를 가지는 그래프의 경우, 보다 Cyan 색상 반사율 그래프의 형태와 유사함을 볼 수 있다.

실험 방법

1.1. Kubelka-Munk 모델

인쇄 장치의 발달에 따라, 색상 재현을 위해 신경망에 의한 방법, LUT(Look Up Table)에 의한 방법 등 다양한 색 재현 모델이 사용되어왔다. 그러나 이러한 방식들은 정확한 색 예측을 위해 막대한 데이터베이스 제작이 요구되며 이는 많은 시간과 비용이 소모된다¹⁰⁾. 그러나 KM 모델은 많은 가정을 통해 도출된 간단한 이론으로 높은 정확도를 가지며 코팅, 페인트, 종이, 섬유나 양모부터 대기 물리학까지 많은 영역의 연구에서 활발히 응용되고, 제지, 펄프 산업, 의료분야 등 다양한 산업 분야에서 사용된다. 그러나 KM모델은 불투명한 기관에서만 성립하는 한계를 지닌다. 본 연구는 인쇄물과 같이 불투명도가 75% 이상인 기관에서 KM 모델이 성립하며 이를 통해 빛의 흡수와 산란반사의 광학적 특성을 예측하고, 이로 인한 색채의 재현 및 예측의 유용성을 확인하고자한다.

Paul Kubelka와 Franz Munk(1931)가 고안한 KM 모델은 불투명한 기관에서 일어나는 광학적 특성인 빛의 흡수와 산란에 대한 모델을 정의한다¹¹⁾. 기본 KM모델은 빛이 완전히 확산한다는 가정 하에, 물체의 발색 층에서 흡수계수(K), 산란계수(S)와 두께를 가지는 불투명한 기관에서 반



Fig. 3. Optical properties of the Kubelka-Munk model.

사율과 투과율을 정의한다.

광원으로 나온 빛이 Fig. 3과 같이 발색 층에 쏘아지면 빛 일부는 발색 층에 흡수되거나 발색 층 속에서 산란하고, 일부는 반사된다. 측정된 반사율은 KM 모델에 적용하여 파장(λ)에 따른 빛의 흡수와 산란의 관계로 계산된다. 따라서 KM 모델을 통해 반사율을 알 때, 물질 고유 K/S값의 비율을 알 수 있다.¹²⁾

$$\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)} = \frac{(1 - 0.01R(\lambda))^2}{2(0.01R(\lambda))} \quad (1)$$

입사광의 파장에 따라 달라지는 반사율(R)은 백분율(%)로 주어진 반사율이고 K와 S는 잉크의 흡수 및 산란 계수를 의미한다. 흡수계수(K)는 흡수로 인한 확산의 감소를, 산란 계수(S)는 산란으로 인해 감소하는 세기를 의미한다. Fig. 1과 같이 측정된 단일 색상 모델의 반사율은 식 (1)을 통해 농도와 파장별 인쇄물과 종이 고유의 K/S값으로 도출한다.

위 식 (1)을 반사율(R)에 대한 식으로 다시 재배열하면 다음과 같다.

$$R(\lambda) = 1 + \frac{K(\lambda)}{S(\lambda)} - \sqrt{\left(\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)}\right)^2 + 2\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)}} \quad (2)$$

Fig. 5과 같이 인쇄물이 여러 층을 가질 때, 빛은 각 층

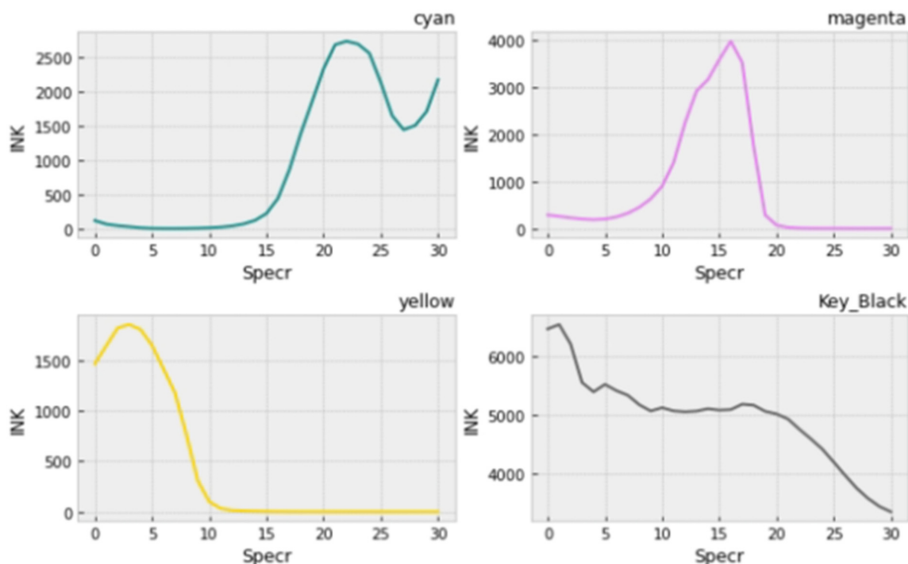


Fig. 4. 100% density color ink K/S.

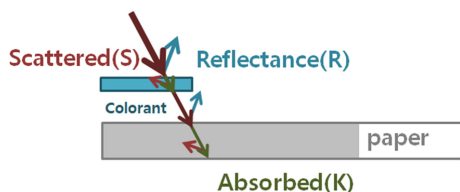


Fig. 5. Optical properties of Multi-layered Kubelka-Munk model.

에서 흡수, 산란한다. KM 모델의 식 (2)를 확장하여 혼합물의 흡수와 산란계수의 값은 이를 구성하는 개별 착색제의 K/S값의 비율에 따른 총합으로 계산된다¹³⁾.

$$\left(\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)}\right)_{mixture} = a\left(\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)}\right)_1 + b\left(\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)}\right)_2 + \dots + \left(\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)}\right)_{paper} \quad (3)$$

인쇄물의 최종 K/S값은 인쇄 전 생지(종이)의 K/S값과 인쇄물을 구성하는 모든 잉크의 개별 K/S값의 총합으로 계산된다. 위 관계식에서 a, b는 혼합물에 함유된 각각의 잉크의 농도를 의미하며 위 농도의 총합은 1이 됨을 가정한다. 따라서 확장된 KM 모델의 식(3)에 따라 인쇄물의 K/S 값은 인쇄물을 구성하는 잉크와 종이의 K/S 값의 합이다. 따라서 인쇄물과 종이의 K/S 값의 차를 통해 농도별, 파장별 잉크의 K/S 값을 구한다. 본 연구에서는 원색 잉크의 농도가 a일 때, 색상의 표현을 위한 남은 (1-a)의 농도를 구성하는 잉크를 투명 잉크(ink_t)라 칭한다.

$$\left(\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)}\right)_{ink_t} = \frac{\left(\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)}\right)_{mixture} - a\left(\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)}\right)_{ink} - \left(\frac{K(\lambda)}{S(\lambda)}\right)_{paper}}{(1-a)} \quad (4)$$

투명 잉크 또한 인쇄물을 구성하는 고유의 K/S값을 가지므로 확장된 KM 모델 식(3)의 역산을 통해(식 (4)) Fig. 6과 같이 투명 잉크의 K/S값을 예측할 수 있다.

본 연구는 원색 잉크와 투명 잉크의 파장별 고유의 K/S 값을 추정했다. 이를 통해 식 (3)에 따라 원하는 농도에서의 인쇄물의 반사율을 예측할 수 있다.

Table 1은 임의의 값 Cyan 색상의 파장 500 nm에서 인쇄물의 측색된 반사율과 투명 잉크 고유의 K/S값을 이용해 도출한 반사율(R')이다. 위와 같이 실측치(R)와 예측치(R') 간의 유사성을 가정 할 때, 유의수준 0.05, t-분포의 양측 검

Table 1. cyan 500 nm reflectance

잉크의 농도	종이의 R	R	R'
0.02	0.897581	0.859007	0.86399345
0.04	0.898858	0.851074	0.85703402
0.08	0.897186	0.83642	0.84344619
0.1	0.898824	0.830376	0.83681259
0.16	0.90523	0.812606	0.81752347
0.2	0.904564	0.799426	0.80515064
0.3	0.904807	0.772763	0.77579742
0.32	0.904528	0.762012	0.77018176
0.4	0.901615	0.738751	0.74850928
0.5	0.903135	0.720595	0.72307569
0.6	0.904782	0.696039	0.69931381
0.64	0.902671	0.691263	0.69024068
0.7	0.905994	0.678275	0.67706403
0.8	0.905193	0.661352	0.65618649
0.9	0.907405	0.641406	0.63655801
1	0.906233	0.61957	0.61806977

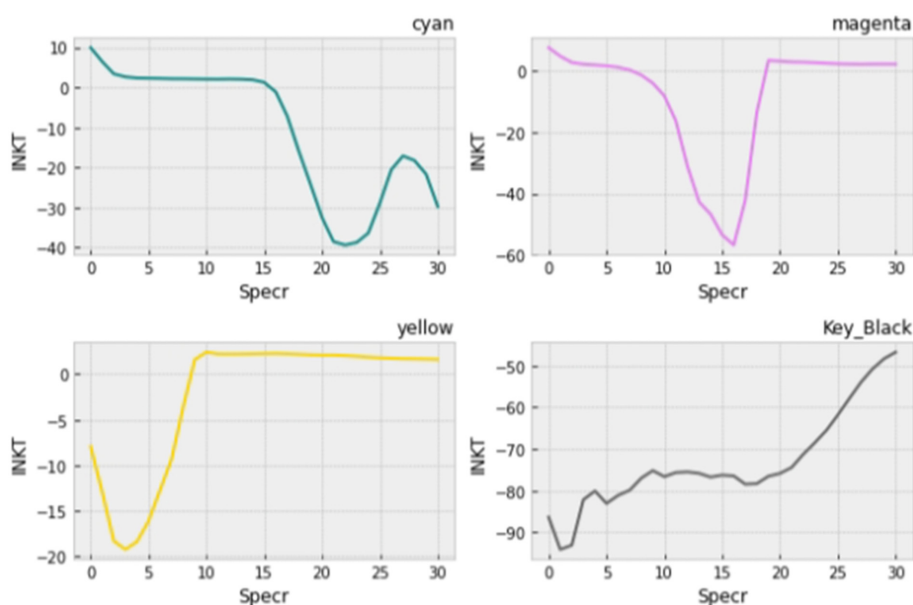


Fig. 6. 100% density transparent ink K/S.

Table 2. Reflectance of Cyan, Magenta 5:5 Mixed Model 500 nm

잉크의 농도	종이의 R	R	R'
0.02	0.904068	0.799139	0.79845083
0.04	0.904155	0.739556	0.72886019
0.08	0.90523	0.642019	0.62067003
0.16	0.904981	0.526595	0.47859066
0.32	0.901312	0.380801	0.32829216
0.64	0.901869	0.225252	0.20164348

정 P값은 0.916369로 유의수준보다 크므로, 실측치(R)와 예측치(R') 간의 유사성을 확인할 수 있다.

여러 색상의 혼합으로 만들어진 인쇄물의 K/S값은 여러 층을 가지는 KM 모델에 적용하여 혼합물을 구성하는 모든 색상의 개별 K/S값의 총합(식 (3))으로 예측된다.¹³⁾

Table 2는 Cyan과 Magenta 혼합 색상 모델의 5:5 혼합 비, 파장 500 nm에서 인쇄물의 측색된 반사율(R)과 투명 잉크 고유의 K/S값을 이용해 도출한 반사율(R')이다. 선행 실험과 유사하게 유의수준 0.05, t-분포의 양측 검정 P값은 0.970015로 유의수준보다 크므로, 실측치(R)와 예측치(R') 간의 유사성을 확인할 수 있다.

결과 및 고찰

1. CIE L*a*b*

장치 의존 색 공간인 CMYK 색 모형은 서로 다른 장치에서 절대적으로 똑같은 색을 재현할 수 있는 상대적인 색 표현으로 출력된 색상을 다른 장치에서 진행할 때 절대적으로 똑같은 색을 재현할 수 없다⁸⁾. 따라서 예측된 파장별 반사율을 장치 독립 색 공간인 CIE L*a*b*의 색상 계를 통해 색상을 확인하고 이를 통해 Delta E(ΔE)를 도출하여 CMYK 색상 재현을 비교하고자 한다.

산업 분야에 널리 사용되는 CIE L*a*b* 색 공간은 국제조명위원회(CIE)에서 균등한 색상 공간을 가지도록 제안된 색 체계다. CIE에서는 사람의 눈이 색을 지각하는 방법들을 실험을 통해 구체적인 장치 독립 색 공간으로 표현한다⁹⁾. CIE L*a*b* 색 공간은 먼셀 색 공간과 비교할 때, 명도와 채도가 더욱 균일하다. L은 반사율과 명도를 나타내며 a의 양수 값은 Red 색상의 정도를, 음수 값은 Green 색상의 정도를 나타낸다. b의 양수 값은 Yellow 색상의 정도를, 음수 값은 Blue 색상의 정도를 나타내는 입체좌표이다. CIE L*a*b* 색 공간을 통해 3차원 색 공간에 L*a*b* 값을 표현하여 장치에서 재현하고자 하는 색 영역을 확인할 수 있다.

Table 3은 파장 별로 측정된 Cyan 색상의 반사율을 농도에 따라 L*a*b* 색 체계로 변환한 표이다. a, b 값이 음수 값을 띄어 각각 Green과 Blue 색상 공간을 통해 Cyan 색

Table 3. L*a*b* of cyan

잉크의 농도	L	a	b
0.02	89.8320	-5.0333	-8.2081
0.04	83.4051	-20.1679	-18.9271
0.08	76.5747	-31.1905	-29.6267
0.1	74.3340	-33.5785	-33.0746
0.16	69.6255	-36.6168	-40.2652
0.2	67.2432	-36.9624	-43.4924
0.3	62.8864	-36.3031	-48.8636
0.32	62.1726	-35.9983	-49.7005
0.4	59.6786	-34.8052	-52.1989
0.5	57.2269	-33.1542	-54.6745
0.6	55.2178	-31.5280	-56.5173
0.64	54.4516	-30.9513	-56.9785
0.7	53.4790	-30.0414	-57.8393
0.8	51.9623	-28.6467	-58.8400
0.9	50.6471	-27.3970	-59.6435
1	49.4184	-26.2337	-60.1961

상에 밀접하게 표현됨을 알 수 있다. 또한 잉크의 농도가 늘어남에 따라 L 값이 낮아지며 농도에 따라 낮은 명도의 더 진한 Cyan 색상 표현을 확인할 수 있다.

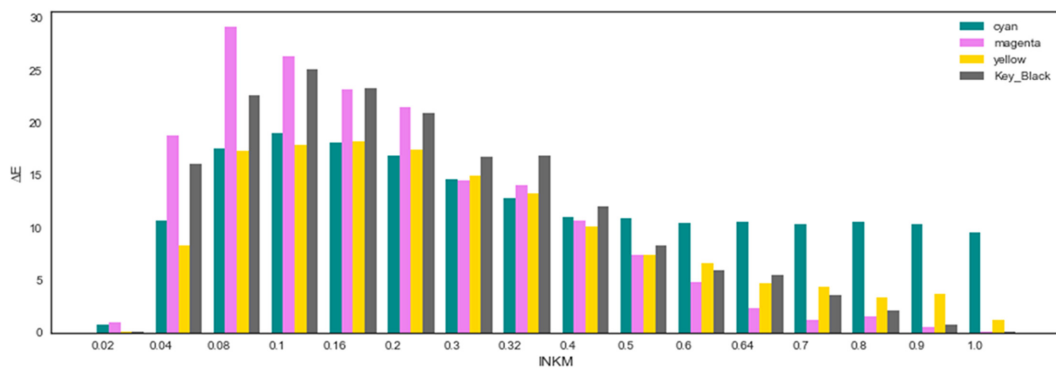
2. ΔE*ab

CIE L*a*b* 입체좌표의 색상 간의 차이인 ΔE는 관찰되는 색상과 육안으로 보는 색상의 차이를 인식하는 척도다. CIE L*a*b* 색 공간에서는 입체좌표로 색상을 표현한다. 따라서 색의 차이를 가지는 두 색상 좌표 사이의 입체적 거리를 계산(식 (5))하여 색의 차이를 수학적 수치로 나타낼 수 있다.¹⁵⁾ 일반적인 척도에서 ΔE값은 0에서 100의 범위를 가지나, 값이 높을수록 색상의 정확도가 낮아진다. ΔE*ab은 1976년 CIE에서 가장 먼저 발표된 계산법으로 0.4 이하일 때, 사람의 눈으로 색의 차이를 식별하는 것이 불가능하며, 1 이하에서 대부분의 일반적인 색 관리가 이루어진다. ΔE가 3 이하일 때, 일반적으로 간주하는 동일한 색상의 범위로 사용되며 그 이상부터 다른 색으로 판단된다.¹⁵⁾

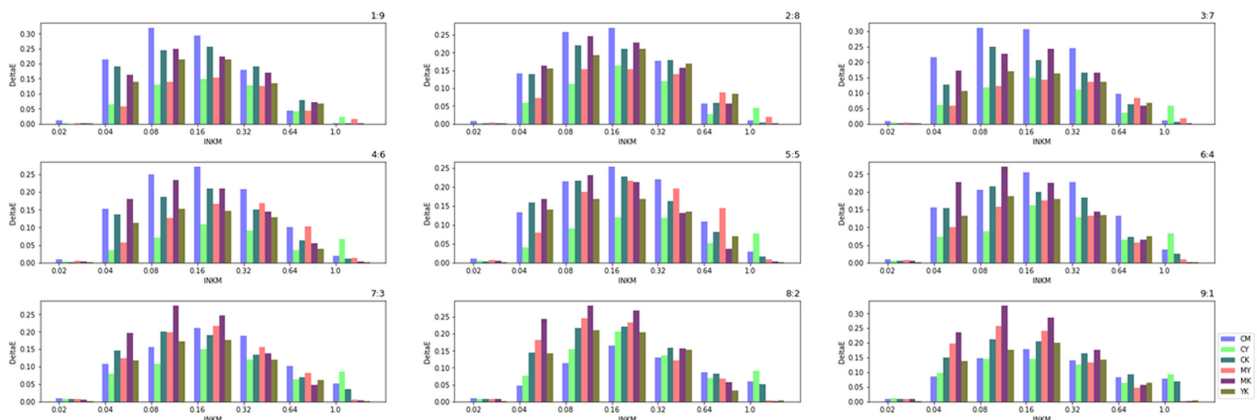
$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2} \quad (5)$$

Fig. 7은 식 (5)를 통한 농도(INKM) 별 단일 색상 잉크의 ΔE 값이며 Table. 4는 Cyan과 Magenta 혼합 색상 모델의 혼합비율과 농도별 ΔE 값이다. CMYK 색상, 농도 별로 다른 ΔE 값을 가지나, 육안으로 색의 차이를 식별하기 어려운 0.4이하의 값을 가지는 유의한 예측값을 가진다.

Fig. 8은 식 (5)를 통한 CMYK 혼합 색상 모델의 ΔE 값이다. 농도(INKM)와 혼합 비율별로 다른 ΔE 값을 가지

Fig. 7. ΔE by CMYK color.Table. 4. ΔE by Cyan and Magenta Mixed Color

혼합 \ 농도	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64
1:9	0.010149	0.213542	0.319694	0.293069	0.177974	0.044514
2:8	0.008411	0.140807	0.257197	0.269804	0.176552	0.056678
3:7	0.008841	0.215016	0.310999	0.306405	0.243788	0.097755
4:6	0.009965	0.152631	0.249469	0.272166	0.208256	0.100371
5:5	0.010016	0.132858	0.214269	0.254501	0.221372	0.109274
6:4	0.010116	0.155782	0.204863	0.255138	0.227328	0.132138
7:3	0.010227	0.108693	0.156225	0.21126	0.188992	0.102139
8:2	0.009629	0.046227	0.113929	0.163766	0.130513	0.085458
9:1	0.009582	0.086446	0.146419	0.178643	0.140787	0.08319

Fig. 8. ΔE by CMYK Mixed Color.

나, Fig. 8의 혼합된 CMYK 인쇄 모델 중 CM, MK, MY가 농도 0.32이하에서 비교적 높은 ΔE 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 단일 색상 모델의 Fig. 7에서 농도 0.32 이하의 Magenta 색상 모델의 ΔE 가 높은 값을 가지고, Cyan과 Magenta 혼합 색상 모델의 Table. 4를 통해 혼합 비율별 ΔE 값의 차이를 비교할 때, 단일 CMYK 색상 모형이 혼합 색상 모형에도 비율에 따른 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있다.

결론

제품이 표현하고자 하는 색상을 보다 정확하고 선명하게 재현할 수 있는 패키지 포장재 인쇄는 제품의 특징을 효율적으로 표현하고 브랜드 차별화에 중요한 요소이다. 따라서 패키지 디자인의 인쇄 색채 재현은 소비자의 제품 구매 의사결정에 중대한 영향을 미친다.

본 실험에서는 패키지 인쇄에 널리 사용하는 CMYK 오

프셋 인쇄물의 예측하고 실측값과 비교해보았다. KM 모델을 통한 반사율, 본 실험에서 진행한 단일 색상 모델과 2도 혼합 모델의 ΔE 값이 0.4 이하의 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 예측치와 실측치 간 눈에 띄는 색상의 차이를 느낄 수 없음을 알 수 있다. 또한 Fig. 7의 단일 CMYK 인쇄 모델의 0.32이하의 농도에서 비교적 큰 ΔE 값을 가지는 Magenta가 Fig. 8과 같이 혼합된 CMYK 인쇄 모델인, CM, MK, MY에서 이처럼 높은 ΔE 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 KM모델의 단일 CMYK 색상 모형이 혼합 색상 모형에도 비율에 따른 영향을 끼치는 것을 알 수 있으며, 본 실험에서 진행한 2도 인쇄 외에도 3, 4도 패키지 인쇄물에서도 KM모델의 색상 모형의 영향이 있음을 기대할 수 있다.

본 실험은 KM 모델을 이용한 색상 고유의 K/S 값을 통해 색 재현, 예측의 연구로서 의의를 가진다. 그러나 본 실험에서는 포장 소재 중 종이에 인쇄된 인쇄물을 통해 반사율을 예측, 비교했다. 따라서 향후에는 종이 인쇄물과 다른 굴절율과 반사율을 가지는 다양한 포장 소재에 대한 추가적인 연구를 진행해보고자 한다.

Acknowledgement

This research was a part of the project titled 'forest science-technology R&D program (2021383A00-2123-0101)', funded by the Korea Forestry Promotion Institute (Korea National Arboretum), Korea.

This research was a part of the project titled 'Development to solve current issues in seafood distribution (Project number: 1525011894)', funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea.

참고문헌

1. Moon, Soo Geun. 2006. A study on the Package Design in Brand Marketing. Journal Korea Society of Visual Design Forum 13(0): 17-27.
2. Han, Jung Min. and Kang, Hae-Seung. 2014. Study on Color Images of Korean Milk Package – Focusing Standard and Organic Milks -. Korea Society of Design Trend (42): 101-110.
3. Lee, Yong il. 2010. A Study on Packaging Graphics Color and Brand Image of Ionic Beverage Design -Focusing on Domestic Ionic Beverages of Four Companies. Korea institute of exhibition industry convergence 7(): 77-87.
4. "offset printing (printing technique)". 2013. Encyclopædia Britannica. Retrieved
5. Kang, Henry R. 1999. Digital Color Halftoning, SPIE Press. p. 1. ISBN 0-8194-3318-7.
6. Cha, Jae Young. and Cho, Ga-Ram. and Koo, Chul-Whoi. 2000. A study on the Transformation from CMYK to L*a*b color space using color reproduction models. Journal of the Korean printing society 18(2): 29 – 40.
7. Kim, Min Ung. and Lee, In Hee. 2008. A Comparative Study on the Color Representation of Companies Manufacturing Inkjet Printer. The Society Of Korean Photography AURA 19(0): 62-72.
8. Yeo, Jeong-Hoon. 2018. A Comparative Study on the Range of Color Display Between Offset Lithography and Digital Printers. Graduate School, Pukyong National University, Busan
9. CIE. 1932. Commission internationale de l'Eclairage proceedings, 1931. Cambridge University Press, Cambridge.
10. Kim, Jong-Pil. and Ahn, Seok-Chul. and Miyake, Y. 2002. Prediction of color reproduction based on compensated Neugebauer Model for dotgain. Journal of the Korean Graphic Arts Communication Society 20: 257-68.
11. Paul, Kubelka and Franz, Munk. 1931. An article on optics of paint layers. Z. Tech. Phys 12: 593-601.
12. Abebe, Mekides. and Gerhardt, Jérémie. and Y, Jon. Hardeberga. 2011. Kubelka-Munk theory for efficient spectral printer modeling. Society of Photo Optical Instrumentation Engineers (SPIE)
13. Chae, Young Joo. 2018. Optimized Structural and Colorimetric Modeling of Yam-Dyed Woven Fabrics Based on the Kubelka-Munk Theory. JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF CLOTHING AND TEXTILES 42(3): 503-515.
14. "Delta E: The Color Difference". 2009. Colorwiki.com. Retrieved
15. Gaurav, Sharma. 2003. Digital Color Imaging Handbook (1.7.2 ed.). CRC Press. ISBN 0-8493-0900-X.

투고: 2021.11.18 / 심사완료: 2021.12.19 / 게재확정: 2021.12.24