

색재현 모델을 이용한 CMYK 에서 L*a*b* 색변환에 관한 연구

차재영 · 조가람 · 구철희

부경대학교 공과대학 인쇄정보공학과

(2000년 7월 22일 접수, 2000년 8월 19일 최종수정본 접수)

A study on the Transformation from CMYK to L*a*b* color space using color reproduction models

Jae-Young Cha, Ga-Ram Cho, Chul-Whoi Koo

Dept. of Graphic Arts Information, Pukyong National University

(Received 22 July 2000, in final form 19 August 2000)

Abstract

Recently, color proofing in printing industry grow rapidly. If an order decide color from known color information in the case of color reproduction, we can reduce expenses and time. In color proofing the best important point must be closed proofed color to primary color and secondary color. Model-based approaches have the advantages of faster recharacterization and the opportunity of simulating product enhancements such as changes in ink properties and halftoning.

In this paper, we transformed the dot area of CMYK to CIELAB color space using color reproduction models. Firstly, we measured spectral reflectance of primary color printed by Matchprint II and the data was used to find tone reproduction curve using regression equation, and than we applied at primary color model, such as Murray-Davies, Yule-Nilsen, and mixed color model, such as Kubelka-Munk, relaxed version of spectral Neugebauer. In such results, the Kubelka-Munk model resulted in the best spectral reconstruction accuracy followed by relaxed version of spectral Neugebauer model, color difference is 2.8401.

1. 서 론

현재의 컬러교정은 인쇄 출판 산업에서 가장 빨리 성장하고 있는 분야이다. 전자 출력이 발전함에 따라 컬러 재현 분야에 종사하는 모든 사람은 컬러 문제에 대한 보다 많은 정보를 필요로 하게 되었으며 컬러 측정 및 평가는 디자인 창작 단계에서부터 숙지해야만 할 사항이 되었다. 컬러 재현 작업 중에 미리 알고 있는 컬러 정보에 의해 결정을 내리면 시간과 비용을 절감할 수 있어서 생산성을 높일 수 있다. 컬러 교정에서 가장 중요한 부분은 교정색과 인쇄 잉크로 만들어지는 일차색과 이차색이 최대한 근접해야 한다. 이러한 컬러 교정을 위해 사용되는 이미지 장치는 적당한 컬러 모델을 필요로 한다. 즉 컬러교정에서 컬러 모델의 선택은 아주 중요하다.

이미지 장치를 위한 컬러 모델링에서 사용하는 색재현 모델은 다음과 같이 두가지로 크게 구분된다. 첫 번째는 망점 인쇄를 위해 사용되는 색재현 모델로 Neugebauer model (N), Yule-Nilsen model (YN), 그리고 Clapper-Yule 다중 내부반사 (CY)이며, 검색 원리를 기초로 한 식은 피인쇄체가 흡수만을 행하는 균질의 피인쇄체에 대한 Beer-Bouguer 법칙 (BB), 반투명과 불투명 피인쇄체인 비균질 피인쇄체에 대한 Kubelka-Munk이론 (KM) 등을 들 수 있다.

두 번째는 측정된 많은 데이터를 이용한 회귀 분석법(regression), 신경회로망(neural network), LUT 등이 있다. 첫 번째 색재현 모델은 적은 수의 데이터로 이미지 장치의 컬러 모델링을 할 수 있다. 하지만 측정된 데이터가 적으므로 색차가 많은 것이 단점이다. 이러한 모델의 적용분야는 저가의 시스템을 갖춘 이미지 장치에 사용할 수 있다. 두 번째 색재현 모델은 첫 번째 모델과 비교해 많은 수의 데이터가 필요하고 데이터 분석에 많은 시간이 소요된다. 하지만 색차를 많이 줄일 수 있어 고가의 이미지 장치에 사용할 수 있다.

본 논문에서는 색재현 모델을 이용하여 CMYK의 망점면적율을 CIELAB 색공간으로 변환하는 것이다. 이를 위해, Matchprint 2로 출력된 1차색의 분광 반사율을 측정하였으며, 그 데이터를 회귀방정식을 이용하여 Matchprint로 출력했을 때의 톤 재현 곡선을 구하였다. 그런 다음, Murray-Davies, Yule-Nilsen과 같은 단색모델과 Kubelka-Munk, 분광 확장 Neugebauer와 같은 다색모델을 적용하여 보았다. 그 결과, Kubelka-Munk 색재현 모델보다 분광 확장 Neugebauer 색재현 모델의 색차가 더 작음을 알 수 있었으며, 색차는 2.8401이었다.

2. 실험

2-1. 원고 제작

실험에 사용된 sample은 Photoshop에서 2가지를 제작하였다.

예비 실험을 위한 C, M, Y, K, R, G, B를 각각 10단계로 나누어 제작하였고, 검증용 위한 color patch로서 C, M, Y, K, R, G, B, 3-C를 각각 20단계로 나누어 제작하였다.

2-2. 실험 방법

먼저 photoshop에서 70개의 일차색과 이차색의 sample를 제작하고, 이것을 필름으로 출력하였다. 출력된 필름을 이용하여 matchprint로 교정 인쇄를 하였다.

분광을 10nm과장 단위로 측정할 수 있는 colortron를 이용해 70개의 sample를 측정하고, 측정된 분광을 회귀 공식에 넣어 망점 면적율을 추정하였다. 추정된 망점 면적율을 이용하여 C, M, Y, K의 tone 재현 곡선을 구하였다. 다음으로 분광 측정값중 6개의 분광 데이터(C, M, Y, K, paper)를 이용하여 각각의 color mixing model에 적용시켜 색차를 구하였다. 가장 작은 색차를 보이는 모델을 선택하고 여기에 160개의 sample로 검증함으로써 분광 확장 color mixing model의 적용성을 알아 보고, 임의의 컬러값에 대한 matchprint의 망점 면적율을 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 단색 예측

3-1-1. Murray-Davies 모델

Murray-Davies식과 회귀공식으로 망점 면적율을 추정할 수 있다. 아래의 식을 이용하면 측정된 분광 데이터를 normalized 시킬 수 있다.

$$R_{\lambda, \text{normalized}} = \frac{R_{\lambda, c} - R_{\lambda, w}}{(R_c - R_w) \text{ at } \lambda \text{ minimum}}$$

위의 식으로 분광데이터를 normalized함으로써 최소 반사율(또는 최대 흡수율)을 구할 수 있다. 측정된 분광 반사율을 Murray-Davise 모델에 적용한 결과로 얻은 각 컬러의 색차는 Table 1과 같다.

Table 1. CIELAB ΔE^*_{ab} error for primary and secondary color data based on the Murray-Davies model.

| color | C | M | Y | K | R | G | B |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ΔE^*_{ab} | 2.1889 | 2.7984 | 1.2057 | 0.7020 | 8.6843 | 4.7656 | 8.0943 |

Table 1에서 보면 단색인 C, M, Y, K에 대한 색차는 C 2.1889, M 2.7984, Y 1.2057, B 0.7020이며 R, G, B에 대한 색차는 R 8.6843 G 4.7656 B 8.0943으로 일차색 보다 이차색의 색차가 많은 것으로 나타났다.

Fig. 1은 Murray-Davies식의 결과로 cyan에 대한 결과이다. 여기서 x축은 파장을 나타내고, y축은 분광 반사율을 나타내고 있다. 그리고 파란색 선은 추정된 값이며, 적색 선은 실측된 값을 나타내고 있다. Table 1과 Fig. 1의 결과로 Murray-Davies식은 단색에 대한 색재현 모델로 적합하지만 다색에 대한 색재현 모델로는 적합하지 않음을 알 수 있다.

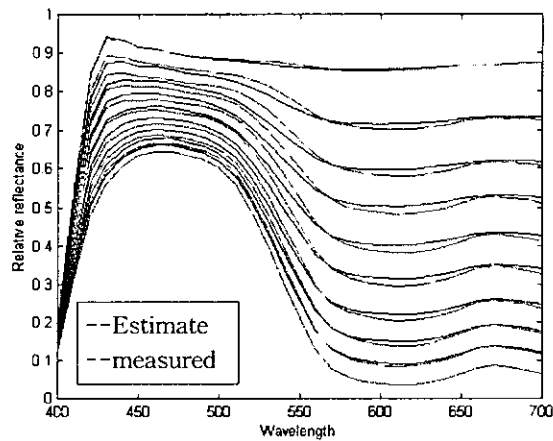


Fig. 1. Measured and predicted reflectance by Murray-Davies Eqn of cyan ramp.

3-1-2. Yule-Nielsen 모델

앞의 Murray-Davies모델은 이론적으로 부적당하다. 그러므로 Murray-Davies식에 n값을 적용함으로써 색차를 많이 줄일 수 있었다.

$$R_{\lambda} = (a_c R_{\lambda,c}^{1/n} + (1 - a_c) R_{\lambda,w}^{1/n})^n$$

여기서 n은 잉크 특성, 스크린 선수, 종이의 산란등을 보정한 보정계수이며, 종이내부의 광 산란효과에 관련된 계수로 Yule-Nielsen에 의해 처음 제안되었다.

최적의 n값을 찾기 위해 n=1에서 5까지 0.01단계까지 세분화하여 최적의 n값을 실험적으로 찾았다. Table 2는 각각의 일차색에 대한 최적의 n 값을 나타내고 있다.

Table 2. The n-value of primary color.

| color | C | M | Y | K |
|---------|------|--------|--------|------|
| n-value | 1.11 | 1.1544 | 1.0662 | 1.01 |

Murray-Davies 모델에서의 색차를 보정하기 위해 Table 2의 n값을 Yule Nielsen 모델에 적용한 결과는 Fig. 2에서 볼 수 있다. Table 3은 Yule Nielsen 모델에서 구해진 각각의 컬러에 대한 평균 색차를 나타내고 있다. Yule Nielsen 모델 역시 단색 모델이므로 일차색에서의 색차가 이차색의 색차에 비해 아주 작게 나왔다. 특히 black의 평균 색차가 가장 작게 나타났다.

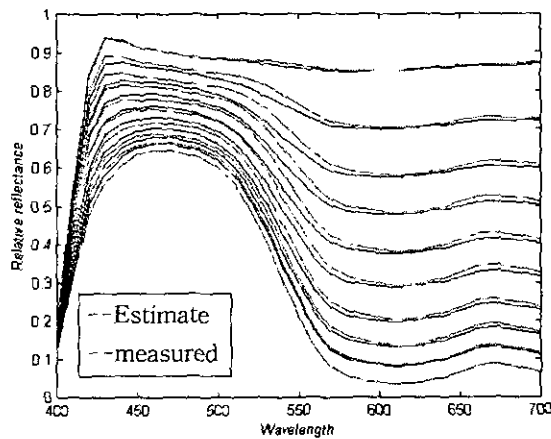


Fig. 2. Measured and predicted reflectance by Yule-Nielsen Eqn of cyan ramp.

Table 3. CIELAB ΔE^*_{ab} error for primary and secondary color data based on the Yule-Nielsen model.

| color | C | M | Y | K | R | G | B |
|-------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ΔE^*_{ab} | 1.4788 | 1.116 | 0.7366 | 0.6743 | 8.3563 | 3.7577 | 6.5100 |

이 모델에서의 색차는 많이 감소했지만 광학적인 영향은 배제할 수 없을 것 같다.

3-1-3. Kubelka-Munk 모델

Macthprint를 이용해서 출력한 sample의 분광 반사율을 측정하여 Kubelka Munk 모델에 적용한 결과는 아래의 Table 4와 같다.

Table 4에서 C, M, Y의 평균 색차는 Murray-Davies 모델이나 Yule Nielsen 모델의 색차보다 크게 나타났다. 그러나 black 잉크의 평균 색차는 작게 나타났다. 이것은 black 잉크가 광학적인 영향을 적게 받기 때문이며, base 용지의 잉크 흡수가 거의 없기 때문이다. Fig. 3는 분광 데이터를 이용하여 구해진 추정값과 실측값의 색차를 나타내는 그래프이다.

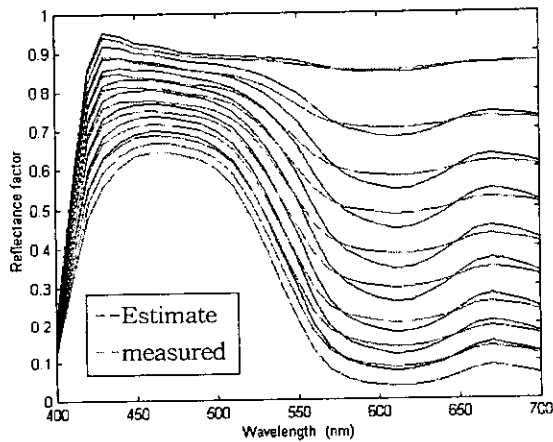


Fig. 3. Measured and predicted reflectance by Kubelka-Munk Eqn of cyan ramp.

Table 4. CIELAB ΔE^*_{ab} error for primary color data based on the Kubelka-Munk model.

| color | C | M | Y | K |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| ΔE^*_{ab} | 4.1275 | 5.7737 | 2.5198 | 0.4865 |

Kubelka-Munk 모델은 다색 연속계조에서 사용하는 모델이기 때문에 Macthprint 에서 출력된 인쇄물에 적용하기에는 좋지 않은 것 같다.

3-1-4. system에서의 망점확대

회귀의 결과로 mechanical dot gain를 평가 할 수 있다. Fig. 4에서 C, M, Y의 3색에서는 비슷한 dot gain를 보이고 있으며, black ramp의 50% 망점에서 가장 높은 dot gain를 보임을 알 수 있다. black ramp의 50%에서 높은 dot gain이 생기는 이유는 black 잉크가 광학적인 영향을 적게 받기 때문이다. 여기서 x축은 이론적인 망점 면적율이며, y축은 tone 재현 곡선을 이용해 구해진 망점 면적율이다.

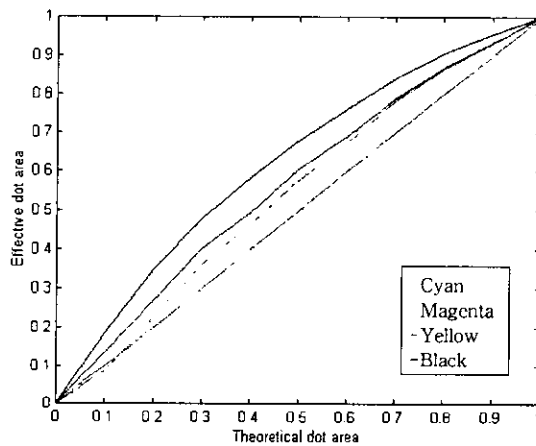


Fig. 4. Mechanical dot gain functions. (Each ramp is appropriately color coded.)

3-2. 다색 예측

3-2-1. Neugebauer relaxed 모델

Neugebauer relaxed 모델에 적용한 결과는 Table 5에와 같다. 전체적인 평균 색차는 작게 나타났으며, 특히 이차색의 색차가 많이 줄었음을 알 수 있다. 그러나 일차색의 black 잉크의 색차가 크게 나타났다.

Table 5. CIELAB ΔE^*_{ab} error for primary and secondary color data based on the Neugebauer model relaxed color-type selector.

| color | C | M | Y | K | R | G | B |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ΔE^*_{ab} | 1.4536 | 1.5323 | 1.1381 | 2.2159 | 5.4568 | 4.6566 | 3.4275 |

Fig. 5는 Neugebauer relaxed 모델의 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

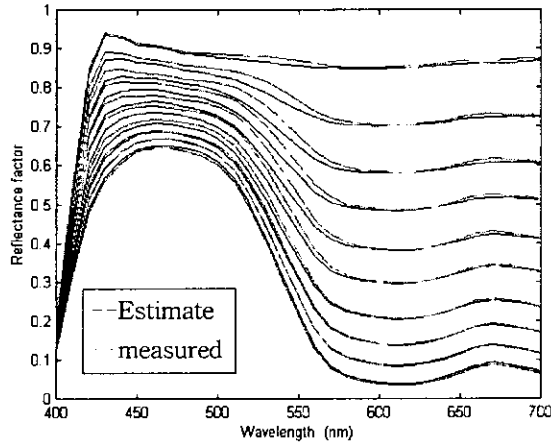


Fig. 5. Measured and predicted reflectance by Neugebauer model relaxed color-type selector of cyan ramp.

위의 그래프에서 추정값과 실측값의 차이가 많이 나타남을 볼 수 있다. 이것은 Yule Nielsen 모델에서 구해진 각각의 잉크에 대한 n 값의 평균값을 이용했기 때문에 black 잉크의 색차가 많은 것 같다. Yule Nielsen 모델에서는 각각의 잉크에 대한 최적의 n 값을 사용했기 때문에 색차가 작게 낮게 나타났다.

Table 6은 각각의 color mixing 모델에서 구해진 평균 색차, 최대 색차, 최소 색차를 나타내고 있다. 전체적인 평균 색차를 살펴보면 Neugebauer relaxed 모델의 색차가 가장 작고, Murray-Davies 모델의 색차가 가장 큼을 알 수 있다.

Table 6에서 나타난 것과 같이 Murray-Davies 모델의 평균 색차는 4.06, Yule Nielsen 모델의 평균 색차는 3.23, Kubelka-Munk 모델의 평균 색차는 3.23, Neugebauer relaxed 모델의 평균 색차는 2.84이다. 4개의 모델에서 Neugebauer relaxed 모델이 가장 작은 색차를 나타내는 이유는 Neugebauer relaxed 모델에서 색차를 줄이기 위해 n 값과 tone 재현 곡선을 사용한 결과 다른 모델과 비교해 색차가 가장 작음을 확인하였다.

Table 6. CIELAB ΔE^*_{ab} error for primary and secondary color data.

| | Murray-Davise | Yule-Nielsen | Kubelka-Munk | Neugebauer relaxed model |
|--------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------------------|
| Average color difference | 4.0627 | 3.2321 | 3.2268 | 2.8401 |
| Maximum color difference | 8.6843 | 8.3563 | 5.7737 | 5.4568 |
| Minimum color difference | 0.7020 | 0.6743 | 0.4865 | 1.1381 |

Fig. 6은 Neugebauer relaxed 모델에 160개의 patch를 넣어 검증한 결과에서 얻어진 최대 색차를 보이는 patch의 추정치와 실측치에 대한 그래프이며, Fig. 7은 최소 색차를 보이는 patch의 그래프이다. 여기서 평균색차는 4.34이며, 최대 색차는 12.9523, 최소 색차는 0.4515로 나타났다.

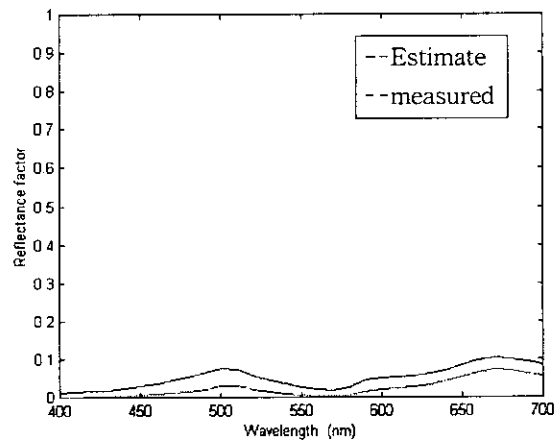


Fig. 6. The worst match for measured and predicted reflectance of 160 color patch based on the Neugebauer relaxed model.

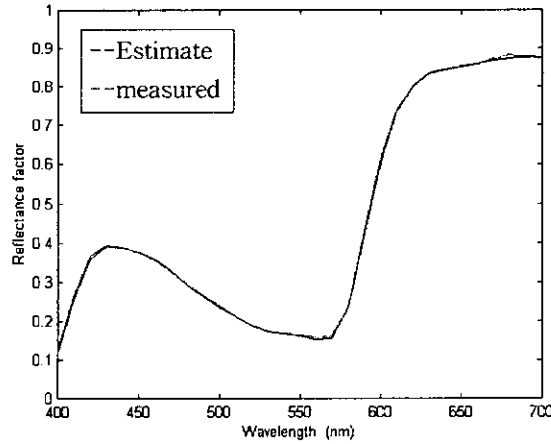


Fig. 7. The best match for measured and predicted reflectance of 160 color patch based on the Neugebauer relaxed model.

4. 결 론

Matchprint 교정기를 이용한 교정인쇄에서 색재현 모델을 이용하여 CMYK의 망점면적을 CIELAB 색공간으로 변환한 결과는 다음과 같다.

- (1) Murray-Davies 식에서의 결과는 실측된 값 보다 추정된 값이 많은 차이를 보였다. 평균 색차는 4.0627, 최대 색차는 8.6843, 최소 색차는 0.7020이다.
- (2) Yule-Nielsen 식에서 구해진 Table 2에서의 n값이 적용 될 때 가장 낮은 색차를 보였다. 평균 색차는 3.2321, 최대 색차는 8.3563, 최소 색차는 0.6743이다.
- (3) Kubelka-Munk 모델에서의 결과는 평균 색차가 3.2268, 최대 색차 5.7737, 최소 색차 0.4865였다.
- (4) Neugebauer relaxed 모델에서의 결과는 단색 모델에서 구해진 n값과 tone reproduction curve를 적용시켰을 때, 평균 색차는 2.8401, 최대 색차는 5.4568, 최소 색차는 1.1381이었다.

- (5) Neugebauer relaxed 모델에 160개의 sample를 적용시킨 결과는 평균 색차 4.34, 최대 색차 12.9523, 최소 색차 0.4515이다. 위와 같은 결과로 색재현 모델에서 분광 확장 color mixing model를 적용시킬 수 있음을 알게 되었고, 적은 수의 분광 측정 데이터로 색예 측이 가능함을 확인하였다.

참고문헌

- (1) H. R Kang, "Comparison of color mixing theories for use in electronic printing," IS&T/SID's Color Imaging Conf. : Transforms & Transport-ability of color, 78-82, (1993).
- (2) H. R Kang, "Applications of color mixing models to electronic printing," J. Electronic Imaging, 3(3), pp. 276-287, (1994).
- (3) R. Balasubramanian, "A printer model for dot-on-dot halftone screens," proc. SPIE/IS&T Color Imaging Conference: Color Hardcopy, (1995).
- (4) R.S. Berns, "Spectral modeling of a dye diffusion thermal transfer printer," J. Electronic Imaging, 2(4), pp. 359-369, (1993).
- (5) P. G Engeldrum, "Four color reproduction theory for dot formed imaging system," J. Imaging Technology, pp. 126-130, (1986).
- (6) J.A S. Viggiano, "Modeling the color of multi-colored halftones," Proc. 1990 of Technical Assoc. Graphics Arts, pp. 44-62, (1990).
- (7) J. A. S. Viggiano, "The color of halftone tints," Proc. 1985 of Technical Assoc. Graphics Arts, pp. 647-661, (1985).
- (8) M. Pearson, "n-value for general condition," Proc. 1980 of technical Assoc. Graphics Arts, pp. 415-425, (1980).
- (9) J. A. C Yule and W. J Nielsen, "The Penetration of light into paper and its effect on halftone reproduction," Proc. 1951 of Technical Assoc. Graphics Arts, pp. 65-76, (1951).
- (10) H. R. Kang, "Kubelka-Munk modeling of ink jet ink mixing," J. Imaging Tech. pp. 76-83, (1991).
- (11) P. Kubelka, "New contributions to the optics of intensely light-scattering materials. Part I," J. Opt. Soc. Am. pp. 448-457, (1948).
- (12) Y. Liu, "Spectral reflectance modification of Neugebauer equations," Proc. 1991 of Technical Assoc. Graphics Arts, 154-172, (1992).

- (13) A. Murray, "Monochrome Reproduction in Photoengraving," J. Franklin Inst., 221, 721-744 (1936).
- (14) R. Rolleston and R. Balasubramanian, "Accuracy of various types of Neugebauer model," Proc. IS&T and SID's Color Imaging Conference : Transforms & Transportability of Color, pp. 32-37, (1993).