

보급형 디지털 장비를 이용한 Deco-Film용 PVC의 색차판별에 대한 연구

A Study on Color Difference Discrimination for PVC Deco-Film using Entry-Level Digital Device

임호윤(Hoyoun Im)*, 김민수(Minsoo Kim)**

초 록

스마트폰, 디지털 카메라 및 사무용 스캐너와 같은 보급형 디지털 영상장비가 과거에 비해 매우 개선되었음에도 실제 산업 현장에서 활용되는 경우는 거의 없다. 이것은 산업 현장에서 요구되는 높은 수준의 품질과 성능 때문이지만, 향상된 보급형 장비의 성능이 충분히 기존 산업용 장비를 대신할 만큼 성장했는지에 대해 객관적인 검증은 부족한 상황이다. 만약 보급형 장비가 활용될 수 있는 영역을 실험을 통해 객관적으로 확인할 수 있다면, 기업들은 고가의 산업용 장비 구입에 투자하는 비용을 절감할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 PVC(Polyvinyl chloride) 컬러용지의 색차판별에 대한 보급형 디지털 영상장비의 활용가능성을 실험하고자 한다. 스마트폰, 디지털 카메라 및 사무용 스캐너를 색차판별 실험에 사용하여, 사무용 스캐너가 적은 측정오차와 일관된 결과를 보이는 것을 확인하였다. 사무용 스캐너를 실제 산업용 분광색차계와 비교하는 추가 실험을 통해 두 결과의 상관관계가 높다는 것을 확인하였다. 본 연구의 결과를 토대로 색차판별을 위한 적절한 관리기준을 마련한다면 PVC 컬러용지 제작에서 사무용 스캐너가 산업용 분광색차계를 충분히 대신할 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

Though digital imaging devices such as smart phones, digital cameras and office scanners have improved significantly over the past years, they are seldom used for industrial application. This may be attributable to high level of quality and performance requirement for industrial application, but there lacks a test or an objective evaluation whether the upgraded performance of entry-level device is sufficiently enough to replace existing industrial equipments or not. If there exists an industrial application area where the applicability of entry-level equipment is proved by some objective tests, then companies will be able to reduce investment on expensive industrial equipment. In this study, applicability of entry-level digital devices for color difference discrimination of PVC

이 논문은 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 기술경영 전문대학원 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(N0001613).

* First Author, Graduate School of Management of Technology, Pukyong National University
(afiadong@gmail.com)

** Corresponding Author, Graduate School of Management of Technology, Pukyong National University
(minsky@pknu.ac.kr)

Received: 2016-12-02, Review completed: 2017-01-06, Accepted: 2017-02-20

(Polyvinyl chloride) color sheet is tested. By testing smart phone, digital camera, and office scanner for color difference discrimination, authors have found that office scanner shows consistent result with less measurement error. Additional experiment on comparing office scanner with industrial spectrophotometer has confirmed that there exists high correlation between the two devices' results. Based on this result, office scanner may be applicable to discriminate the color difference of PVC sheet instead of expensive industrial spectrophotometer if proper management criteria are established.

키워드 : 디지털 화상 장치, 스캐너 측색 시스템, PVC 용지 색차판별
Digital Imaging Device, Scanner Colorimetric System, PVC Sheet Color Difference Discrimination

1. 서 론

과거 영상장치와 관련된 기술은 주로 필름에 영상을 기록하던 아날로그 방식을 중심으로 발달되어 왔지만, 현재에는 디지털 카메라, 스마트폰, 디지털 TV, CCTV, 촬영용 드론에 이르기까지, 다양한 장치에서 동영상과 정지화상을 포함한 디지털 저장 방식을 폭 넓게 활용하고 있다. 그러나 생활 속에서 다양한 디지털 영상장비를 접할 수 있는 것과 달리, 산업현장에서는 이런 영상장비의 활용이 더디게 이루어지고 있다[2, 7, 14, 23]. 특히, 색의 출력과 색상의 재현을 다루는 제조공정에서 원본과 출력물의 색차 판별에 여전히 분광색차계와 같은 고가의 장비들을 사용하고 있어서 중소기업들에게 상당한 부담이 되고 있으며, 국내의 많은 중소기업들이 품질검사에 측색계를 이용한 육안검사에 의존하고 있는 실정이다.

인간의 시각에 의존한 색차판별은 검사자의 성향, 감정, 환경, 학력 등에 따라 편차가 발생할 수 있고, 개인별로 작업 수행도의 차이가 발생한다[13, 20, 25, 31, 33]. 산업용 측색계를 사용한 색차검사라도 펄(Pearl)이나 알루미늄 분말(Aluminum Powder)과 같은 금속 소재가 포

함되어 있는 경우에는 측정 위치, 검사 대상의 상태 및 검사 환경에 따라 측정값의 편차가 많이 발생하는 단점이 있다. 고가 장비의 확보뿐만 아니라 충분히 숙련된 전문가의 활용도 어려운 중소기업에서는 색차판리에 엄밀한 정확성이 요구되지 않는 경우에 저렴한 보급형 디지털 장비를 활용하는 방법이 보다 현실적인 대안이 될 수 있다.

본 연구에서는 색차판별을 요하는 검사에서 표준설정 및 로트 간 편차의 관리를 위해 보급형 디지털 영상장비를 활용하는 방안을 살펴보고자 한다. 이를 위해서 범용 스캐너, 디지털 카메라 및 스마트폰 카메라를 통해 얻은 이미지가 원본과 보이는 색차를 비교해 봄으로써, 해당 장비의 제조현장에서의 적용 가능성을 파악하고자 한다.

본 연구는 특히, 장식용 필름(Deco-Film)의 제작에 필요한 PVC(Polyvinyl chloride) 컬러 용지(Sheet, Film)의 색차판별 작업을 대상으로 이루어졌다. 가구, 건축자재 및 인테리어 등에 매우 폭넓게 사용되는 Deco-Film의 제작공정에 일상생활에서 널리 사용되고 있는 스마트폰, 디지털 카메라 및 보급형 스캐너를 활용할 수 있다면 상당히 다양한 산업군의 기업들에게 도움이 될 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제1장의 서론에서는 연구의 필요성에 대하여 간략히 설명하였다. 제2장에서는 생산현장에서 디지털 장비를 색차판별에 활용한 기존 연구를 살펴보고, 색 공간의 표현과 변환에 대한 기초 이론을 간단히 정리하였다. 제3장에서는 Deco-Film 제작을 위한 PVC 컬러용지의 색차판별 공정에 대한 소개와 함께, 해당 공정에 디지털 장비가 활용될 가능성과 파급효과를 정리하였다. 제4장에서는 본 연구에서 수행된 실험의 수행방법과 결과를 정리하였으며, 마지막 제5장에서는 결론과 함께 추후 연구내용을 정리하였다.

2. 관련 연구 및 이론적 배경

2.1 디지털 장비를 활용한 색차판별

Filho 등은 이산화질소(NO_2)에 비색반응을 보이는 트리에탄올아민($\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$)이 함유된 C-18이라는 카트리지의 색상을 분석함으로써 대기의 공해 수준을 파악하였다[6]. C-18 카트리지를 NO_2 에 농도별로 투입하여 얻어진 변색된 카트리지의 이미지를 스캐너를 통해 디지털 파일로 저장하고, 얻어진 RGB(Red, Green, Blue) 데이터를 표준광원 D65 기준(상관 색온도 6500K, 북쪽 하늘의 평균 태양광 기준)의 RGB값으로 변환한 다음, 각각의 값 중에서 가장 큰 값들을 이용하여 색상 값과 농도에 대응시키는 측정 방법을 제시하였다. 이 연구를 통해 간단하고 저렴한 비용으로 대기의 공해 수준을 측정할 수 있는 기반을 제시하였다.

Meng 등은 유기인계 살충제(Organophosphorus)가 아세틸콜린에스테라아제(AChE; acet-

ylcholinesterase)라는 물질과 비색반응을 일으켜 나타난 색을 일반적인 사무용의 평판 스캐너(Flatbed Scanner)를 통해 디지털화하여, 음식에 함유되어 있는 살충제 성분의 농도를 측정하는 연구를 진행하였다[17]. 이 연구를 통해 실제 사과에 포함된 살충제 성분을 분석하는데 성공하였다고 한다.

Murat 등은 토마토 페이스트에 검은색 불순물이 첨가되는 것을 검출하는 품질검사 작업에 일반적인 평판 스캐너와 ANN(Artificial Neural Network)을 결합한 분석 시스템을 개발하였다[32]. Chung 등도 인쇄된 직물의 색상 검사에 스캐너를 활용하였는데, 섬유의 색상이 주변의 조명환경에 큰 영향을 받기 때문에 이를 차단할 수 있도록 덮개가 있는 스캐너를 연구에 이용하였다[3].

2.2 색 공간의 표현과 변환

색 공간은 수학적으로 서술되어지는 색상의 집합과 그 집합을 정밀하게 해석할 수 있는 알고리즘으로 구성되어 있다[30]. 일반적으로 사용되는 색상 모드로는 국제조명위원회(CIE: International Commission on Illumination), RGB(Red, Green, Blue), CMYK(Cyan, Magenta, Yellow, Black) 및 HSV(Hue, Saturation, Value)의 4가지가 있다[26, 30]. CIE 색 공간은 인간의 색채 인지에 대한 연구를 기초로, 수학적으로 정의된 최초의 색 공간 중의 하나이다[5]. 널리 알려진 RGB 색 공간은 주로 디스플레이 장치 등에서 사용되며, R, G, B 각각에 대해 0~255 범위의 값을 갖도록 구성된다[22, 26]. CMYK 색 공간은 주로 프린터 등에 사용되며, C, M, Y, K 각각의 색상 농도를 0~100%의 범위로

표현하는데, 특별히 K는 어두운 컬러의 색 재현을 위해서 첨가된 것이다[26].

1920년대에 Wright와 Guild가 인간의 시각에 대한 실험을 통해 CIE XYZ 제정의 기초가 되는 이론을 제시하였고[8, 34], 이 연구로부터 CIE RGB 색 공간이 만들어졌다. 국제조명위원회는 다시 이를 기초로 1931년에 CIE XYZ 색 공간(CIE 1931)을 제정하게 되었다[4, 27].

CIE Lab 색 공간은 인간 시각이 대립되는 색들의 상호작용에 반응하여 인지된다는 길항이론에 기초한 것으로, CIE XYZ 색 공간을 비선형적으로 변환하여 만들어진다. 휘도를 나타내는 L(Lightness)값은 인간이 느끼는 밝기에

대응되며, a는 적색과 녹색의 대비, b는 노란색과 파란색의 대비를 나타내도록 설계되었다[10, 11]. 인간의 색 지각이 비선형적이라는 연구결과에 따라 CIE Lab 색 공간은 실제 빛의 파장과 비선형적 관계를 가지며, Lab 색 공간에서 서로 다른 두 색의 거리가 실제 인간이 느끼는 색깔의 차이와 비례하도록 설계되었다[16]. 1948년 Hunter에 의해 처음 발표된 Lab 색공간은 CIE XYZ 색 공간을 2차함수를 통해 변환하여 얻어지는데, 현대에 와서는 3차함수를 통해 변환하는 CIE L*a*b* 색 공간을 주로 사용한다. 밝기를 나타내는 L*의 값이 0이면 검은색, 100이면 흰색을 나타낸다. a*의 값이

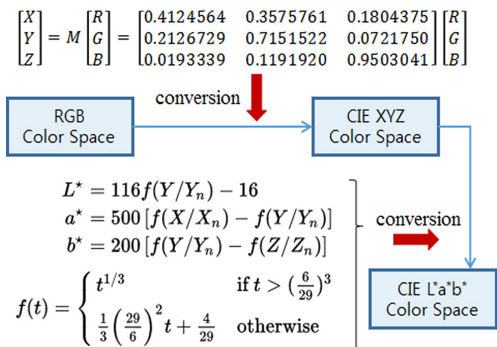
<Table 4> Nippon Denshoku Corporation's Reference Values for Color Difference(1900)

Discrimination Criteria [Difference: ΔE]		Degree of color difference	Color spec. & Example
Acceptable	Not discernable [0.0~0.2]	Specially calibrated colorimeter shows differences within tolerance values. Not discernable by human	N.A.
	Discernable limit [0.2~0.4]	Calibrated colorimeter can detect differences. Discernable limit by human expert	JIS L 0804 JIS L 0805
	AAA(A3) [0.4~0.8]	Possible limit discernable by human with strict color specifications	Agreed specification between related entities
Not Acceptable	AA(A2) [0.8~1.6]	Possible limit discernable by human with strict color specifications	Police Agency, Normal Product Inspection Spec.
	A [1.6~3.2]	Barely discernable with pair-wise test. Considered as the same color for common person	JIS Z 8721, JIS L 0600 General tolerances for color samples
	B [3.2~6.5]	Same color for human eyes Discernible limit for product like ink, paint.	Tolerance for heterogeneous materials like CI JIS E 3305
	C [6.5~13]	Color differences of Munsell color system and IS standard color system	JIS S 6016, 6024, 6037
	D [13~25]	Color differences for family colors	Japanese Specification

음수이면 초록에 치우친 색깔, 양수이면 빨강/보라 쪽에 치우친 색깔이다. 계속해서 b^* 의 값이 음수이면 파랑, 양수이면 노랑에 치우친 색을 표현한다[1].

다양한 색상의 구성에 기초하는 색도 그래프를 통해 색 공간 사이의 변환이 가능한데 [28], 본 연구에서 사용된 색 공간의 변환 과정이 <Figure 1>에 정리되어 있다.

여기서 비례상수 M은 조도와 이론적 기반에 근거하여 얻어진 값으로, 이를 이용해서 색도그래프 상의 (R, G, B) 값을 CIE XYZ 상의 (X, Y, Z) 값으로 변환할 수 있다[9, 12, 18, 24, 29, 35]. 본 연구에서 사용된 비례상수 M의 값은 표준광원 D65하에서 보급형 디지털 영상장비 등에서 표준적으로 사용되는 sRGB 작업공간을 기준으로 얻어진 값이다.



<Figure 1> Conversion between Color Spaces

CIE $L^*a^*b^*$ 상의 색 좌표는 <Figure 1>과 같이 CIE XYZ의 값을 다시 변환하여 얻게 되는데, 변환식에 사용되는 X_n, Y_n, Z_n 의 값은 CIE XYZ를 표준 흰색에 대해 정규화(normalize)한 값을 의미한다. 표준광원 D65하에서 $Y = 100$ 을 기준으로 정규화하게 되면, $X_n = 95.047,$

$Y_n = 100.0, Z_n = 108.883$ 의 값을 각각 얻을 수 있다.

CIE $L^*a^*b^*$ 색 공간에서 두 색 좌표간의 색차는 3차원 공간에서 두 점 사이의 거리를 통해 얻을 수 있는데, 표준색상과 시료색상의 값이 각각 L_0, a_0, b_0 와 L_1, a_1, b_1 일 때, 두 색 좌표간의 색차는 다음의 식 (1)을 통해 계산할 수 있다[15].

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_1)^2 + (a_0 - a_1)^2 + (b_0 - b_1)^2} \quad (1)$$

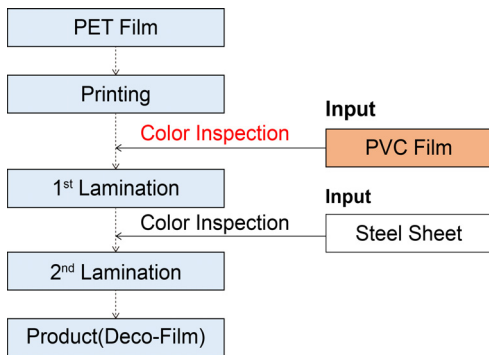
2.3 품질 검사에서의 허용 색차

품질 검사에서 인쇄된 제품의 색상을 판단할 때에는 기준색과 샘플색 사이의 거리로 판단하는데, 측색을 통해 얻어진 색 간의 거리가 사전에 협의된 일정 수준 이내이면 정상으로 간주한다. 원자재의 Lab에 근거한 색차 값 $\Delta E = 0.8 \sim 1.5$ 를 벗어나지 않는 경우를 통상적으로 국내에서는 업체 간 색차에 대한 품질검사 기준으로 사용하고 있다[21]. 본 연구에서는 색차 값 $\Delta E = 0.8$ 을 품질한도로 설정했으며, 이에 대한 근거로 업계에서 널리 통용되고 있는 Nippon Denshoku 사의 기준을 <Table 1>에 정리하였다.

3. PVC 컬러용지의 색차판별

Deco-Film의 제작에서 원자재인 PVC 컬러용지의 색상은 제품의 색상을 결정하는 핵심 요소이기 때문에, PVC Film이 투입되는 공정은 매우 중요하게 관리되어야 하며, 세밀한 색차판별 작업이 요구된다. 전체 공정 중에서 본

연구의 대상이 되는 PVC 컬러용지의 색차판별 작업이 이루어지는 시점을 <Figure 2>에 정리하였다.



<Figure 2> Production Process of Deco-Film

실제 산업현장에서는 분광색차계와 같은 고가의 장비를 충분히 갖추고 있지 못하기 때문에, 많은 중소기업에서 색차계를 이용한 육안 판별에 의존하는 경우가 많으며, 이로 인해 일관된 작업결과를 얻는 것이 어려운 실정이다. 더욱이 전문화된 판별인원을 육성하기에도 한계가 있다. 이런 상황에서 보급형의 디지털 영상장비를 활용하여 색차판별작업을 대체할 수 있다면, 작업의 일관성과 수행도 측면에서 높은 수준의 비용효과성을 달성할 수 있을 것이다.

생산현장에서는 원부자재의 품질이나 속성을 처음 설정할 때, 보통 공급사와 수입사가 육안으로 협의하여 결정하는 경우가 많기 때문에, 색차에 대한 보증이 절대적인 색상 값을 기준으로 이루어지기 보다는 현물에 대해서 이루어지게 된다. 결국 품질은 첫 번째 승인되어 생산된 현물과의 색차 편이를 기준으로 설정하게 되며, 품질기준이 허용하는 색차 이내의 값인지를 검출할 정도의 장비가 있다면 충분

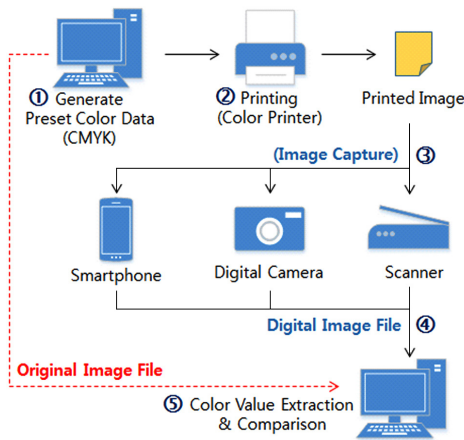
히 색차판별 작업을 대신할 수 있게 된다. 현재 보급형 디지털 영상장비의 성능이 상당한 수준에 도달한 상태라는 점을 고려할 때, 어떤 장비가 이러한 편차를 검출할 정도의 장비임을 실험을 통해 검증할 수 있다면, 해당 장비의 공정 투입이 가능해 질 수 있다.

색차판별 작업에서 저가의 보급형 디지털 영상장비를 활용하여 육안검사를 대체할 수 있다면, 비용효과성 이외에도 다음과 같은 부가적인 효과를 얻을 수 있다. 첫째, 분광색차계의 경우, 제작사나 모델이 다르면 측정결과와 보정작업이 필요한데, 보정이 상호간 이루어지지 않는 경우에는 동일 장비를 구입해야 하는 상황도 발생한다. 그러나 디지털 영상장비를 이용할 경우에는, 공급사와 수입사간에 이미지 파일을 공유함으로써 색차에 대한 보다 일관되고 빠른 의사결정이 가능해진다. 둘째, 산업용 측색기의 경우 측정범위가 30mm 정도로 좁아서 큰 시편의 검사에 불편함이 있고, 이로 인해 Pearl이나 Metallic 소재의 경우에는 밀도나 균일성에 따라 반사율이 달라져 색상에 큰 차이를 보이기도 하지만, 본 연구에서 제안하는 방식으로는 이러한 점들을 피할 수 있다. 1,200DPI(Dots Per Inch)에서 4,000×4,000 픽셀로 검사할 경우 측정범위는 8.45cm×8.45cm가 되지만, 스캐너 등을 활용할 경우에는 A4~A0 크기의 넓은 면적의 색상검사를 동시에 할 수 있으며, 측정된 색상의 절대 값과 관계없이 표준시편과의 편차만을 판별하기 때문에 보다 쉽게 처리가 가능하다. 셋째, 확보된 디지털 이미지파일을 통해서 모니터 상에서 표준시편과의 수치화된 비교뿐만 아니라 추가적인 그래픽 및 디자인 작업을 진행할 수 있으므로 업무효율성 측면에서 보다 향상된 방법이라 할 수 있다.

4. 연구방법

4.1 디지털 영상장비의 측정능력 비교

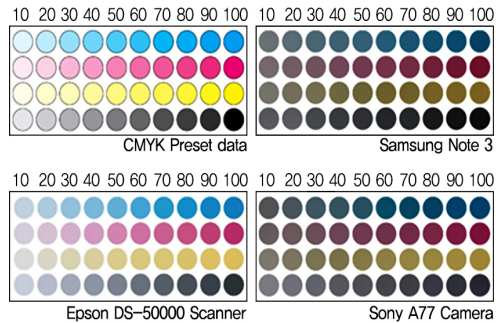
<Figure 3>에 본 연구에서 실시된 실험과정을 정리하였다. 먼저 그래픽 프로그램을 이용해 원본 데이터를 생성하였다. 본 연구에서는 Adobe사의 Photoshop을 이용하여 CMYK 색 공간에서 각 요소의 값을 10%~100%까지 10% 단위로 변화시켜가면서 미리 설정된 색상(Preset Color) 데이터를 생성한 후, 이를 프린터로 출력하였다. 출력된 인쇄물을 다시 스마트폰, 디지털 카메라, 스캐너를 통해 각각 캡처하여 디지털 이미지 파일로 저장하였다. 최종적으로는 프로그램에서 생성된 Preset Color 데이터의 원본 이미지 파일과 캡처하여 얻은 이미지 파일을 비교하여 봄으로써, 각 디지털 영상장비의 성능을 파악할 수 있게 된다.



<Figure 3> Overview of Experiment Procedure

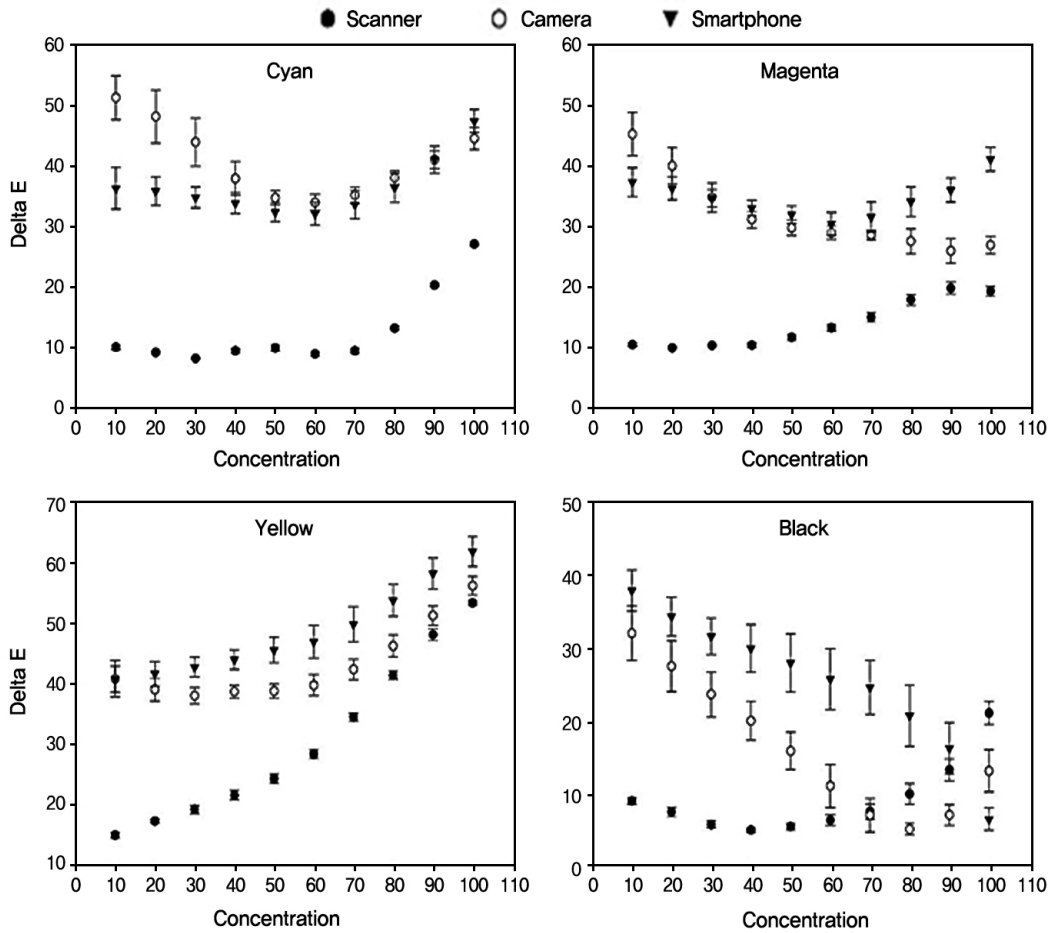
<Figure 4>는 원본 데이터와 디지털 영상장비를 통해 캡처된 데이터의 예를 보여주고

있다. 실험에 사용한 디지털 장비마다 원본 데이터의 출력물을 각각 10회씩 캡처하여 디지털 파일로 생성하였고, 이 파일로부터 각 색상의 Lab 값을 Photoshop을 통해 측정하였다.



<Figure 4> Images of the Preset Data, And Three Sample Data Captured from Each Device

각 디지털 장비별로 10회씩 측정된 색상 값의 비교를 위하여 <Figure 5>에 측정된 Lab 값들의 색차(ΔE)를 정리하였다. 색차의 평균 편차(mean deviation)는 <Table 2>에 정리하였다. 표와 그림을 통해서 확인할 수 있듯이 스캐너를 통해서 측정된 컬러 값의 변동성이 제일 적게 나타났으며, 모든 색상에 대해서 가장 일관된 결과 값을 보였다. 따라서 여러 디지털 영상장비 중에서는 결과의 정확도와 일관성을 위해서 스캐너를 사용하는 것이 가장 바람직할 것으로 판단된다. 스캐너를 사용하더라도 측정된 값과 Preset Color 데이터의 값 사이에 편차가 존재하지만, 이것은 측정 장비의 설정을 통해서 일정 부분 감소시킬 여지가 있다. 장비들의 특징에 따라 색온도, 컬러 균형 및 기타 특성을 조절하여 색차를 최소로 만드는 초기 조정(calibration) 작업을 진행하고[9], 해당 장비의 설정 값을 프로파일로 구성하여 일관되



〈Figure 5〉 Devices' Measurement Capabilities in Delta E Values for Each Color and Density

게 사용한다면 색차판별 공정의 오류를 최소화하여 관리할 수 있을 것이다.

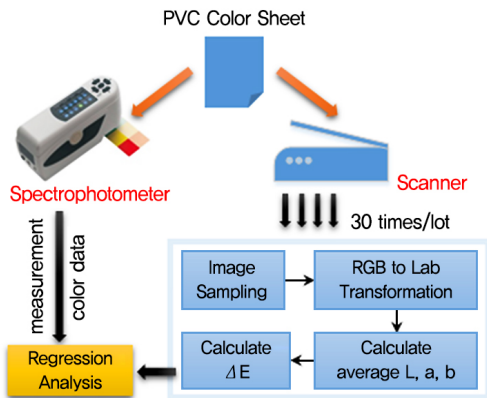
〈Table 2〉 Mean Deviation of ΔE for the CMYK Color

	Smartphone	Camera	Scanner
C	2.1622	2.3078	0.3233
M	1.933	1.9086	0.5466
Y	2.2892	1.681	0.5985
K	3.2464	2.5953	0.8507

4.2 스캐너를 통한 PVC 필름 색차측정

앞서 실험을 통해 컴퓨터상에서 생성된 원본 색상과 이를 출력하여 다시 스캔한 색상과의 차이는 스캐너가 가장 낮고 일관된 결과를 보인다는 것을 알게 되었다. 그러나 실제 현장에서는 원본의 디지털 파일을 기준으로 색차를 판별하는 것이 아니라, 인쇄된 샘플로부터 측정된 값들의 색차를 통해 품질을 판별하는 것이다. 따라서 스캐너를 실제 PVC 필름의 색

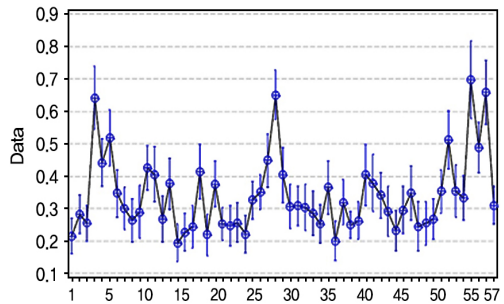
차관별 공정에 활용하기 위해서는 샘플을 색차계로 측정된 값을 기준으로 비교해야 한다. <Figure 6>에 실제 PVC 필름의 색차측정 공정에 스캐너를 활용하기 위한 성능 실험의 과정이 간략히 정리되어 있다.



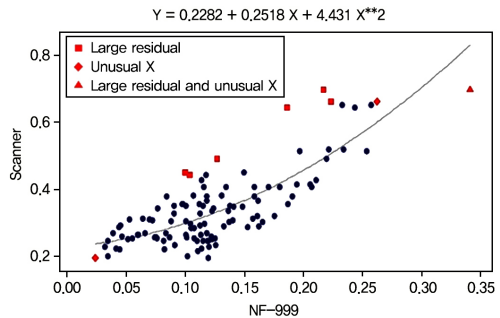
<Figure 6> Experiment on PVC Color Sheet

먼저 PVC 필름에서 A4사이즈의 필름을 샘플링하여 스캐너에서 이미지를 추출한다. 스캐닝 해상도가 높아짐에 따라 이미지의 크기가 급격히 증가하기 때문에, 여기에서는 A4크기를 기준으로 1,200DPI 해상도(약 380mb)를 이용하였다. 추출되어 저장된 이미지의 중심부에서 다시 4,000×4,000 픽셀의 비트맵(Microsoft Windows Device Independent Bitmap) 이미지를 추출한다. 여기에서는 다른 로트(Lot)에서 추출된 이미지와도 비교를 할 수 있도록 크기를 한정하였다. 추출된 이미지의 색상정보는 RGB값으로 저장되어 있으므로, 이를 다시 Lab 값으로 변환한다. 1,600만 개 픽셀 각각의 Lab 값의 평균을 구하고, 이 평균값을 기존 업체 간에 승인된 표준 샘플 값과 비교하여 ΔE를 구한다. 약 3년간 검사된 32종의 PVC 컬러 용지 중

에서 한 색상을 선정하여 데이터 수집기간 중 입고된 57개 로트의 동일색상 PVC 용지와 로트마다 30번씩 스캐너로 측정하였다. 측정결과로 얻은 데이터와 표준 샘플 값이 보이는 색차변화를 <Figure 7>에 로트별로 정리하였다.



<Figure 7> Mean and Standard Deviation of PVC Color Sheet for 57 Lots



<Figure 8> Regression Analysis between Scanned Mean Value and Measured Value of NF-999 Spectrophotometer

<Figure 8>에 각 로트별로 수집된 PVC 용지의 평균 색차 값과 휴대용 분광색차계(NF-999)를 이용하여 수집된 값과의 회귀분석 결과를 나타내었다. 두 데이터간의 상관계수는 0.8이며, 두 변수간의 관계는 2차의 회귀방정식

($Y = 0.2282 + 0.2518X + 4.431X^2$)을 통해 잘 설명될 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 색차관리의 기준을 적절히 마련한다면, 스캐너의 측정값을 활용한 색차검사가 충분히 산업용 색차계의 역할을 대신할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 스마트폰, 디지털 카메라, 스캐너를 사용하여 PVC 컬러용지의 색상판별 공정이 수행될 수 있는지를 판단하고자 해당 기기들의 성능을 실험하였다. 스캐너는 외부광원 및 측정 방식이 고정적이기 때문에 가장 적은 색차와 일관된 결과를 보였으며, 이를 실제 PVC 용지 샘플에 적용하여 측정된 실험결과는 분광색차계를 이용한 결과와 높은 상관관계를 나타냈다. 본 연구의 실험에서는 calibration 과정을 진행하지 않았기 때문에, 실제 장비에 대한 calibration 작업을 진행할 경우 오차가 더욱 감소되어 나타날 것으로 예상된다. 적절한 calibration과 적용 분야에 맞는 색차관리 기준을 마련한다면 현장에서 고가의 색차계를 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

실제 현장에서는 색차계를 이용하여 작업을 진행하기보다는 전문가집단의 육안검사를 이용한 색차판별이 훨씬 더 일반적이기 때문에, 산업용색차계와의 비교를 통해 살펴본 정확한 편차보다는 전문가집단의 판단결과와의 비교가 보다 의미가 있을 수 있다. 산업표준은 통상적으로 ΔE 값이 0.8 이하로 관리되도록 하고 있으나, 결국 문제를 인식하는 것은 최종 제품을 보고 판단하는 일반 소비자들일 것이기 때

문에, 육안식별 결과와의 일치성이 더 실제적인 것이라 할 수 있다. 따라서, 현실적인 활용 결과를 얻기 위해서는 색차를 육안검사와 비교하는 추가 연구가 필요할 것이다.

References

- [1] Billmeyer, F. W. and Saltzman, M., Principles of Color Technology, 2nd Edition, John Wiley & Sons, pp. 98-107, 1981.
- [2] Choi, S. H., "Application of Real Time Multimedia Communication to Web Malls," Proceedings of the CALSEC Conference 1999, Jul., Vol. 1, pp. 349-354, 1999.
- [3] Chung, B. M., Cho, C. S., and Park, M. J., "Color Inspection of Printed Texture using Scanner and NN model," IEEE (ICIT), pp. 1100-1105, 2004.
- [4] CIE(1932), Commission internationale de l'Eclairage proceedings, Cambridge University Press, Cambridge, 1931.
- [5] CIE 1319 Color Space, https://ko.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_%EC%83%89_%EA%B3%B5%EA%B0%84, 2016.
- [6] Filho, J. P., Petrucci, J. F. D. S., and Cardoso, A. A., "Development of a simple method for determination of NO₂ in air using digital scanner images," Talanta, Vol. 140, pp. 73-80, 2015.
- [7] Gamble, T. A., "Document Imaging & Conversion And the Application of Standards," Proceedings of the CALSEC Con-

- ference, 1998, Oct., Vol. 1, pp. 141-148, 1998.
- [8] Guild, J., "The colorimetric properties of the spectrum," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, Vol. 230, pp. 149-187, 1931.
- [9] Holmes, J. G., "The Use of Uniform Chromaticity Scales," *Proceedings of the Physical Society*, Vol. 52, No. 3, p. 359, 1940.
- [10] Hunter, R. S., "Accuracy, Precision, and Stability of New Photo-electric Color-Difference Meter," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 38, No. 12, p. 1094, (Proceedings of the Thirty-Third Annual Meeting of the Optical Society of America), 1948.
- [11] Hunter, R. S., "Photoelectric Color-Difference Meter," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 38, No. 7, p. 651, 1948.
- [12] Jain, A. K., *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, 1989.
- [13] Kurabayashi, T., "Time Characteristics of Inspectors," *Ergonomics*, Vol. 27, No. 7, pp. 781-788, 1984.
- [14] Lim, C. S., Choi, B. G., and Yoon, Y. G., "A Study on Business Processes and Corresponding Classifications of Digital Contents Industries," *The Journal of Society for e-Business Studies*, Vol. 7, No. 3, pp. 105-120, 2002.
- [15] Lindbloom, B., 3D representations of the $L^*a^*b^*$ gamut, <http://www.brucelindbloo>
[m.com/index.html?WorkingSpaceInfo.html](http://www.brucelindbloo.com/index.html?WorkingSpaceInfo.html), 2016.
- [16] Margulis, D., *Photoshop Lab Color: The Canyon Conundrum and Other Adventures in the Most Powerful Colorspace*, Pearson Education, ISBN 0-321-35678-0, 2006.
- [17] Meng, X., Schultz, C. W., Cui, C., Li, X., and Yu, H.-Z., "On-site chip-based colorimetric quantitation of organophosphorus pesticides using an office scanner," *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 215, pp. 577-583, 2015.
- [18] Meyer, G. W., Greenberg, D. P., "Perceptual color spaces for computer graphics," *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol. 14, pp. 254-261, 1980.
- [19] Morovič, J., *Color Gamut Mapping*, John Wiley & Sons, 2008.
- [20] Ohta, H., "Qualification of inspectors for Subjective Testing by Constellation Graph," *Human Factors*, Vol. 25, No. 4, pp. 467-472, 1981.
- [21] Park, Y. S., *Color, Yerim*, ISBN 9788990905666, 2007.
- [22] RGB Color Codes Chart, http://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.htm, 2016.
- [23] Rho, M.-J., Kim, J.-H., and Lee, J.-B., "An Exploratory Study on Smart-Phone and Service Convergence," *The Journal of Society for e-Business Studies*, Vol. 15, No. 4, pp. 59-77, 2010.
- [24] Ryu, B. T., Kim, K. T., Ha, Y. S., Bae,

- J. W., Lee, S. B., Song, J. H., Lee, K. Y., Lee, J. D., Kim, K. H., and Kim, H. S., "New RGB Primary for Various Multimedia System," *Journal of Information Display*, Vol. 15, No. 2, pp. 65-70, 2014.
- [25] Schwabish, S. D. and Drury, C. G., "The Influence of Reflective-Impulsive Cognitive Style on Visual Inspection," *Human Factors*, Vol. 26, No. 2, pp. 641-647, 1984.
- [26] Sharma, G. and Bala, R., *Digital Color Imaging Handbook*, CRC Press, 2002.
- [27] Smith, T. and Guild, J., "The C.I.E. colorimetric standards and their use," *Transactions of the Optical Society*, Vol. 33, No. 3, pp. 73-134, 1931.
- [28] Smith, V. C. and Pokorny, J., "The design and use of a cone chromaticity space," *Color Research and Application*, Vol. 21, pp. 375-383, 1996.
- [29] Spicer, C. W., Kenny, D. V., Ward, G. F., Billick, I. H., and Leslie, N. P., "Evaluation of NO₂ Measurement Methods for Indoor Air Quality Applications," *Air & Waste*, Vol. 44, No. 2, pp. 163-168, 1994.
- [30] Stubbings, T. C. and Hutter, H., "Peer reviewed: combining multispectral image information using color," *Analytical Chemistry*, Vol. 72, pp. 282-288, 2000.
- [31] Togami, H., "Affects on Visual Search Performance of Individual Differences in Fixation Time and Number of Fixation," *Ergonomics*, Vol. 20, No. 3, pp. 181-190, 1984.
- [32] Velioglu, H. M., Boyaci, I. H., and Kurultay, S., "Determination of visual quality of tomatp paste using computerized inspection system and artificial neural networks," *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 77, pp. 147-154, 2011.
- [33] Wang, M. J. and Drury, C. G., "A Method of Evaluating Inspector's Performance Differences and Job Requirements," *Applied Ergonomics*, Vol. 20, No. 3, pp. 181-190, 1989.
- [34] Wright, W. D., "A re-determination of the trichromatic coefficients of the spectral colours," *Transactions of the Optical Society*, Vol. 30, pp. 141-164, 1928.
- [35] Wright, W. D., "The Graphical Representation of Small Color Differences," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 33, No. 11, pp. 632-633, 1943.

저 자 소 개



임호윤

2004년

2012년~현재

관심분야

(E-mail : afiadong@gmail.com)

아주대학교 경영정보학 (경영학석사)

부경대학교 기술경영대학원 (박사과정)

e-Commerce, 기술경영, Big Data 등



김민수

1996년

2002년

2004년~2016

2016년~현재

관심분야

(E-mail : minsky@pknu.ac.kr)

서울대학교 산업공학과 (공학석사)

서울대학교 산업공학과 (공학박사)

부경대학교 시스템경영공학부 교수

부경대학교 기술경영전문대학원 교수

e-Business Standards, BPM, 기술경영, Big Data 등