

〈연구논문(학술)〉

디지털 프린팅을 위한 실시간 직물 결점 검출 시스템

김경준 · 이채정 · 박윤철¹ · 김주용[†]

송실대학교 유기 신소재 · 파이버공학과
¹한국생산기술연구원 섬유소재본부 e-color 연구팀

A Real-Time Inspection System for Digital Textile Printing

Kyungjoon Kim, Chae Jung Lee, Park Yoon Cheol¹, Jooyong Kim[†]

Department of Organic Materials and Fiber Engineering, Soongsil University, Seoul, Korea 156-743

¹e-color research team, KITECH, Ansan, Korea 426-791

(Received: January 18, 2008/Revised: February 1, 2008/Accepted: February 15, 2008)

Abstract— A real-time inspection system has been developed by combining CCD based image processing algorithm and a standard lighting equipment. The system was tested for defective fabrics showing nozzle contact scratch marks, which are one of the frequently occurring defects.

Two algorithms used were compared according to both their processing time and detection rate.

First algorithm (algorithm A) was based on morphological image processing such as dilation and opening for effective treatment of defective printing areas while second one (algorithm B) mainly employs well-defined edge detection technique based on canny detector and Zernike moment. It was concluded that although both algorithms were quite successful, algorithm B showed relatively consistent performance than algorithm A in detecting complex patterns.

Keywords: digital textile printing(dTP), inspection system, real-time, image processing

1. 서 론

DTP(Digital Textile Printing)란 디지털 이미지를 섬유패션CAD로 활용하여 디자인을 한 후 종이에 인쇄하는 방식과 마찬가지로 다양한 특수 전처리 가 된 섬유원단에 잉크화 된 프린팅 염료를 이용하여 섬유 전용프린터로 디지털화된 디자인 패턴을 출력하는 것을 의미한다. 디자인부터 출력까지 전체 공정을 컴퓨터로 처리하여 기존의 프린팅 공정을 획기적으로 단축한 시스템이다. 디자인을 바로 제품화 할 수 있어서 다품종 소량생산과 소비자의 욕구에 맞춘 신속 대응이 가능한 효율적인 프린팅 방식이다¹⁾. 하지만 생산 제품의 검사는 아직도 비 실시간 및 육안 판정 방법이 사용되고 있다. 이러한 육안 판정 방법은 숙련된 검사자가 필요하여

인건비 상승에 따른 제조가의 상승을 야기하고, 주관적이며 시간이 많이 소비되어 실시간 반응이 어렵다²⁾. 이런 점을 개선하기 위하여 화상처리·분석 기술을 이용하여 실시간 DTP직물의 결점 검사법을 제시한다.

화상분석시스템은 면의 잡물 평가³⁾, 염색품위 평가⁴⁾, 부직포의 균제도 평가⁵⁾ 및 직물의 결점검출²⁾ 등에 화상분석에 관한 연구가 이루어졌다. 하지만 DTP로 출력 직물은 복잡한 디자인과 다양한 색상을 가진다. 따라서 화상시스템으로 수집된 직물의 이미지는 직물의 특성상 결에 따라 같은 색상도 다르게 인식된다. 본 논문은 DTP출력 직물의 결에 따른 색의 변화를 수용할 수 있는 CCD 카메라와 화상분석 시스템을 이용한 실시간 DTP 결점검색 시스템 개발을 목적으로 하고 있다.

[†]Corresponding author. Tel.: +82-2-820-0621; Fax.: +82-2-817-8346; e-mail: jykim@ssu.ac.kr

2. 이 론

결점의 검출에서 중요한 점은 원하는 색상과 샘플의 색상의 차이를 정확히 측정하는 것이 가장 중요하다. 국제조명위원회(Commission Internationale de l'Eclairage, CIE)에서는 정확한 측색과 색차를 계산하기 위하여 다양한 표색계를 제시하였고 CIELAB가 대표적으로 많이 사용되고 있다. 이 논문에서는 HSI 색공간과 CIELAB 색공간을 사용한다. 색차식으로 사용된 CMC(l:c) 색차식은 영국염색학회(SDC : Society of Dyes and Colourists of Great Britain)의 측색위원회(CMC : Colour Measurement Committee)에서 표준으로 추천하는 색차식이다. CMC(l:c)는 CIELAB 색공간에 기반을 두고 있으며, 색차를 94%까지 눈과 같이 표현할 수 있는 색차식이다. CMC 색차식은 영국표준, AATCC 시험법 및 ISO의 표준으로 채택되어 광범위하게 사용되고 있다⁶⁾. 그리고 이미지의 유사성 평가를 위한 방법으로는 Zernike moment를 사용하였다.

2.1 HSI 색공간

측정 장비인 CCD 카메라를 이용하여 수집된 영상은 RGB 색공간으로 표현된다. 하지만 사람은 색을 볼 때 RGB 색공간처럼 Red, Green, Blue로 구분하여 인식하지 않는다. HSI 색공간은 색을 RGB 색공간처럼 구분하지 않고 사람이 색상의 물체를 볼 때와 같이 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Brightness)로 나타낸다. 식 (1)을 이용하여 RGB 색공간으로 표현된 색을 HSI 색공간으로 변환시킬 수 있다¹⁰⁾.

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \quad \text{where } \theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{1/2[(R-G) + (R-B)]}{[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}} \right\}$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)]$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B)$$

$$\Delta E_{CMC} = [(\Delta L^*/lS_L)^2 + (\Delta C_{ab}^*/cS_c)^2 + (\Delta H_{ab}^*/S_H)^2]^{1/2}$$

$$S_L = 0.040975L_s^*/(1+0.01765L_s^*) \quad \text{if } L_s \geq 16$$

$$= 0.051 \quad \text{if } L_s \leq 16$$

$$S_H = S_C(TF+1-F)$$

$$F = [C_{ab,s}^*/(C_{ab,s}^{*4} + 1900)]^{1/2}$$

$$T = 0.36 + |0.4\cos(h_{ab,s} + 35^\circ)|$$

$$T = 0.56 + |0.2\cos(h_{ab,s} + 168^\circ)| \quad \text{if } 164 < H_s < 345$$

2.2 CIELAB 색공간

CIELAB 색공간은 스펙트럼 광의 XYZ 3자극치를 기반으로 하여 제안되었다. CIELAB 색공간은 본 논문에서 결점검출에 사용할 CMC(l:c) 색차식의 기초가 된다. RGB 색공간을 가지는 색상 값을 행렬식 (2)를 이용하여 빛의 스펙트럼 광의 삼자극치인 XYZ로 변환한다. 변환된 삼자극치를 식 (3)을 통하여 CIELAB 색공간으로 변환한다.

2.3 CMC(l:c) 색차식

CIELAB 색공간의로 변환된 색 정보를 이용하여 식 (4)의 CMC(l:c) 색차식을 계산한다. CMC(l:c)에서 l은 lightness이고 c는 chroma이다. 특히, 본 논문에서는 l과 c에 2와 1을 대입한 CMC(2:1) 색차식을 사용한다. CMC(2:1)은 사람이 명도의 변화를 크게 느끼지 못하기 때문에 명도에 가중치를 두어 좀더 사람의 눈과 가까운 색차값을 계산할 수 있고 따라서 염색업계에서의 색차계산에 널리 사용되고 있다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.7689 & 1.7517 & 1.1302 \\ 1 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0 & 0.0565 & 5.5943 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (3)$$

$$\text{where } f(t) = t^{1/3} \quad \text{if } t > 0.008856,$$

$$\text{otherwise } f(t) = 7.787t + 16/116$$

2.4 Zernike moment

moment는 영상의 특징을 수치적으로 표현하는 방법 중의 하나로 zernike moment는 영상의 표현 능력이 뛰어나고 회전이나 변환에 불변한 특성을 가지기 때문에 패턴 인식 또는 내용 기반 영상 검색 시스템에서 특징 벡터로 사용되고 있다⁷⁾. 차수가 n이고, 반복수가 m인 Zernike moment는 다음과 같다.

$$Z_{nm} = \frac{n+1}{\pi} \iint_{x^2+y^2 \leq 1} f(x,y) V_{nm}^*(x,y) dx dy \quad (5)$$

실제 입력 이미지에 대하여 Zernike moment를 구하기 위하여, 다음과 같이 Zernike moment 식을 근사화 하였다⁷⁾.

$$Z_{nm} = \frac{n+1}{\pi} \sum_x \sum_y f(x,y) V_{nm}^*(x,y) \quad (6)$$

where $x^2 + y^2 \leq 1$

2.5 알고리즘

CCD 카메라를 통해 수집된 이미지는 RGB 색공간을 가진다. 이미지의 결점 분석을 위해서는 알고리즘에 따라 색 수반 정보는 유지한 채 명도 이미지에 대한 다양한 이미지 분석·처리과정이 필요하다. 이미지 분석·처리의 기본으로써 CCD 카메라를 통해 입력된 영상은 조명에 따른 색상의 왜곡이 발생한다. 이 조명에 의한 색상의 왜곡을 보정하기 위하여 이미지 명도값의 히스토그램 평활화가 필요하다. 이때 RGB 색공간은 Red, Green, Blue의 비율로 색상을 표현하므로 색에 대한 정보는 유지한 채 이미지의 명도의 이미지 처리가 불가능하다. 따라서 RGB에서 다른 색공간으로 변환하여 명도 이미지를 추출하는 전처리 과정이 필요하다. HSI 색공간은 색상을 색 수반 정보인 색상과 채도 그리고 밝기 성분으로 분리한다. 이미지의 전 처리 과정으로 수집된 RGB 색공간 이미지를 식 (1)을 이용하여 HSI 색공간으로 변환한다.

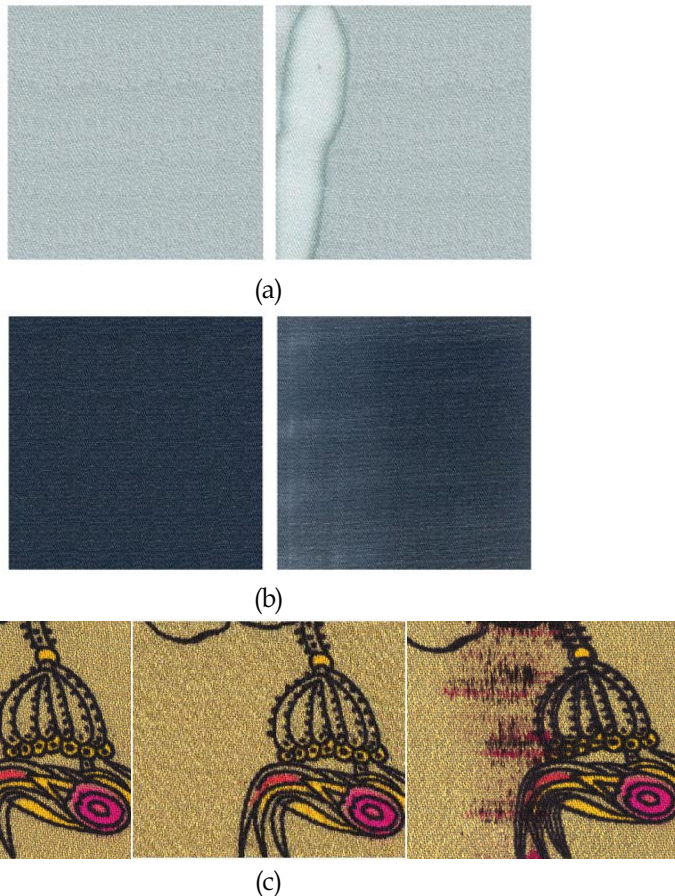


Fig. 1. Sample fabrics (a) a dye blot, (b) a unlevel dyed (c) nozzle contact.

변환된 이미지에서 밝기 성분인 명도만을 추출하여 gray scale 이미지를 얻을 수 있다. 얻어진 gray scale 이미지는 히스토그램 평활화를 이용하여 조명에 의한 효과를 제거 하였다.

Fig. 1의 (a), (b) 직물의 번짐과 발색 불균형에 의한 결점 검출을 위하여 Fig. 2의 알고리즘 A를 제안하였다. 번짐과 발색 불균형은 염료의 온도나 배합이 부적당하거나 습도 등의 환경이 적당하지 못한 경우 발생한다. 직물의 번짐과 발색의 불균형이 발생한 부분의 검출은 색차식을 이용하여 결점 부분을 검출 할 수 있다.

하지만 직물은 경사와 위사에 의한 직물 조직의 질감이 형성되어 CCD 카메라로 수집한 영상은 Fig. 3와 같이 동일한 색도 다른 색으로 인식된다. 따라서 그런 조명에 의한 간섭효과를 제거하기 위한 이미지의 처리과정이 필요하다. 본 논문의 알고리즘 A의 전처리 과정에서 얻은 명도 이미지를 median filter 처리하여 픽셀단위의 잡물이나 CCD 카메라의 노이즈를 제거한다. filter 처리된 이미지는 형태학적 이미지 처리방법인 open 과 close를 이용하여 직물 조직의 질감에 의한 색상의 왜곡을 제거하도록 하였다^{9,10}.

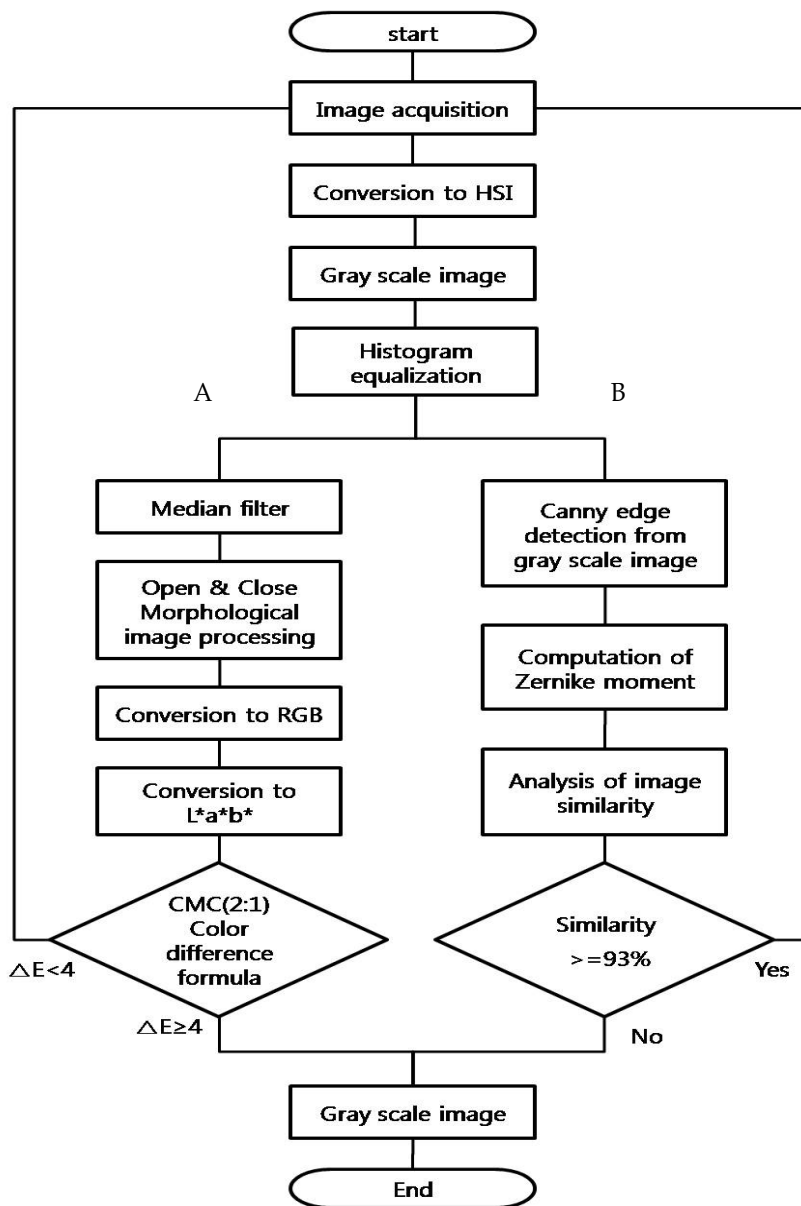


Fig. 2. The Inspection algorithm.

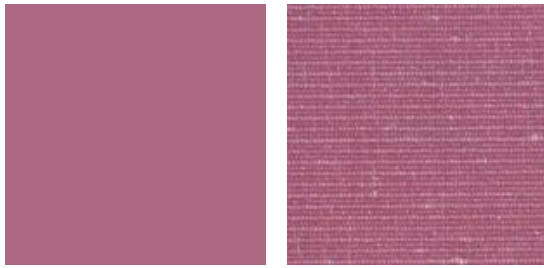


Fig. 3. Comparison with design image and printing image.

이미지 처리 완료 후 CMC(2:1) 색차식의 계산을 위해 CIELAB 색공간으로의 변환이 필요하다. 따라서 HSI 색공간을 다시 RGB 색공간으로 역변환 후 식 (2)를 이용하여 XYZ 빛 스펙트럼 광의 3자극치로 변환한다. XYZ 3자극치를 식 (3)에 대입하여 CIELAB 색공간으로 변환 한다. 계산된 L^* , a^* , b^* 값을 식(4)를 이용하여 견본 이미지의 L^* , a^* , b^* 값과 비교 CMC(2:1) 색차식의 색차 ΔE 를 구하여 결점을 검출한다.

Fig. 1의 (c) 직물은 DTP 직물 출력 시 노즐과 접촉되어 발생하는 결점이다. DTP 출력 시 직물에 걸리는 장력이 다르므로 장력의 변화에 따라 직물의 접힘 현상이 발생한다. bending이 일어난 직물이 프린트의 노즐과 접촉하여 반복적이고 다양한 모양과 크기의 결점을 형성한다. 따라서 알고리즘 B에서는 노즐 접촉에 의한 다양한 형태의 결점을 실시간으로 정확하게 검출할 수 있도록 이미지의 모든 화소의 색차를 계산하는 대신 직물 이미지의 패턴 경계선을 추출하여 이미지의 유사성을 분석 결점을 검출하는 방법을 제안했다.

이미지의 전처리 과정을 통해 얻어진 gray scale 이미지를 에지 검출기를 이용해 경계선 이미지를 얻고 유사성 평가를 위해 zernike moment의 근사식을 이용하였다. 계산된 moment vector 값을 이용하여 원본 이미지와 수집된 이미지를 평가, 이미지 유사성을 판단하여 노즐 접촉 결점을 검출하도록 하였다. 실시간 분석이 가능하면서 정확한 평가가 이루어지도록 유사성 평가전에 정확한 이미지의 외곽선을 추출하기 위하여 canny 에지 검출기를 사용하였다.

3. 실험

Toshiba Teli사의 FireDragon[®] CSFV36CC3(1024x768, Color) CCD카메라를 이용하여 이미지를 수

집하였다. 조명에 의한 수집된 이미지의 빛의 불균일을 최대한 제거하기 위하여 별도의 조명장치를 사용하였다. 조명에 사용된 광원은 Mecbeth사의 X-rite The Judge[®] II Viewing Booth(D65 light)을 사용하였다. 측색방법은 Fig. 4 과 같이 폭 200mm의 샘플에 광원을 위에서 45도 각도로 조사하고 수직으로 설치된 CCD카메라를 이용하여 이미지를 수집하였다⁸⁾. 하나의 패턴을 2m×2m로 가정했을 때 하나의 패턴 당 한번 씩 이미지를 수집하였다. Table 1 은 대표적인 DTP 프린터의 출력속도를 보여준다. 해상도 720×720DPI에서 직물 공급 속도는 시간당 약14m이다. CCD 카메라는 15fps로 동작하고 초당 5회 이미지를 수집하도록 설정하였다. 실험은 Pentium4 3.00GHz의 PC에서 이루어졌다.

견본 이미지의 $L^*a^*b^*$ 값을 얻기 위하여 알고리즘 A에 전 처리를 거친 평활화 된 견본 이미지를 median filter 이용한 잡은 제거와 영상의 open과 close 이용한 형태학적 이미지 처리를 실시 후 분리된 명도 이미지를 재구축 하였다. Fig. 5는 이미지의 처리과정을 보여준다.

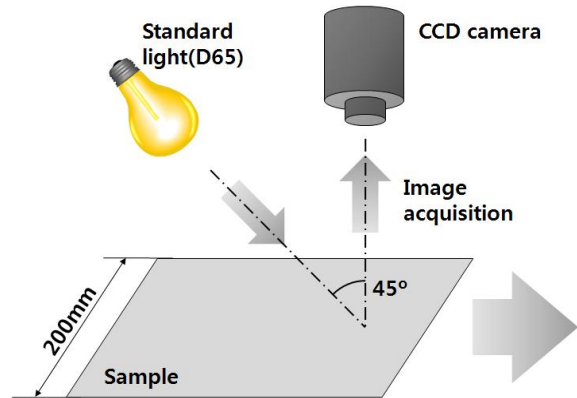


Fig. 4. Schematics of the measurement system used.

Table 1. Printing speed of DTP

Resolution	Printing speed (m ² /hr)	Feeding speed (m/hr)
360×360DPI	34.2	17.1
720×320DPI	27.9	13.95
720×720DPI	13.9	6.95
1440×1440DPI	3.5	1.75
Max. width	2,200mm	



Fig. 5. The images according to image inspection algorithm A.

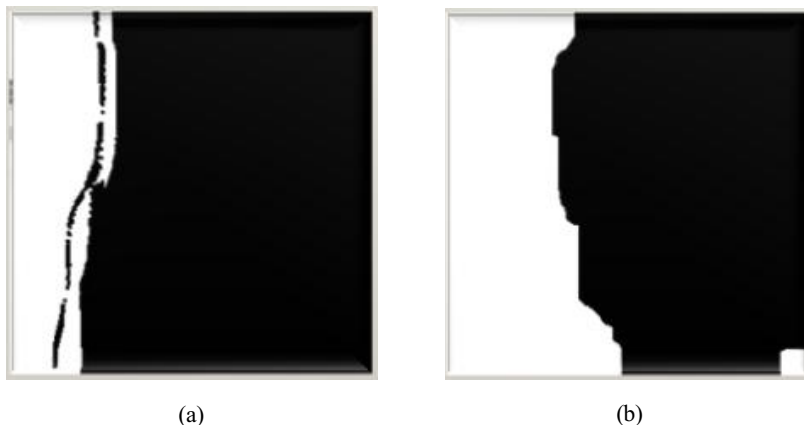


Fig. 6. Inspected binary image (a) a dye blot, (b) a unlevel dyed.

재구축된 영상은 HSI 색공간에서 CIELAB 색공간으로 변환하여 견본 $L^* a^* b^*$ 값을 얻는다. 그리고 sample 직물의 이미지를 동일한 알고리즘의 이미지 처리과정을 통하여 $L^* a^* b^*$ 값을 얻고 CMC(2:1) 색차식을 적용하여 결점을 검출하였다. 색차가 4 이상 발생 시 시 결점으로 인식을 하도록 하였고 결점 이미지의 형태를 명확하게 확인할 수 있도록 Fig. 6과 같이 흑백 이미지로 변환하여 이미지를 파일로 저장 했다.

알고리즘 B도 원본 이미지의 zernike moment 값을 먼저 계산한다.

전처리 과정을 거친 gray scale 이미지를 canny 에지 검출기를 이용하여 경계선을 추출한 이진 이미지를 얻을 수 있다⁹⁾. 얻어진 이진 이미지를 얻고 zernike moment 근사식 (6)을 적용하여 moment 값을 계산한다. 계산된 moment 값을 이용하여 이미지의 유사성을 평가하였다⁷⁾. 원본 이미지의 moment 값과 sample의 moment 값을 반복하여 이미지의

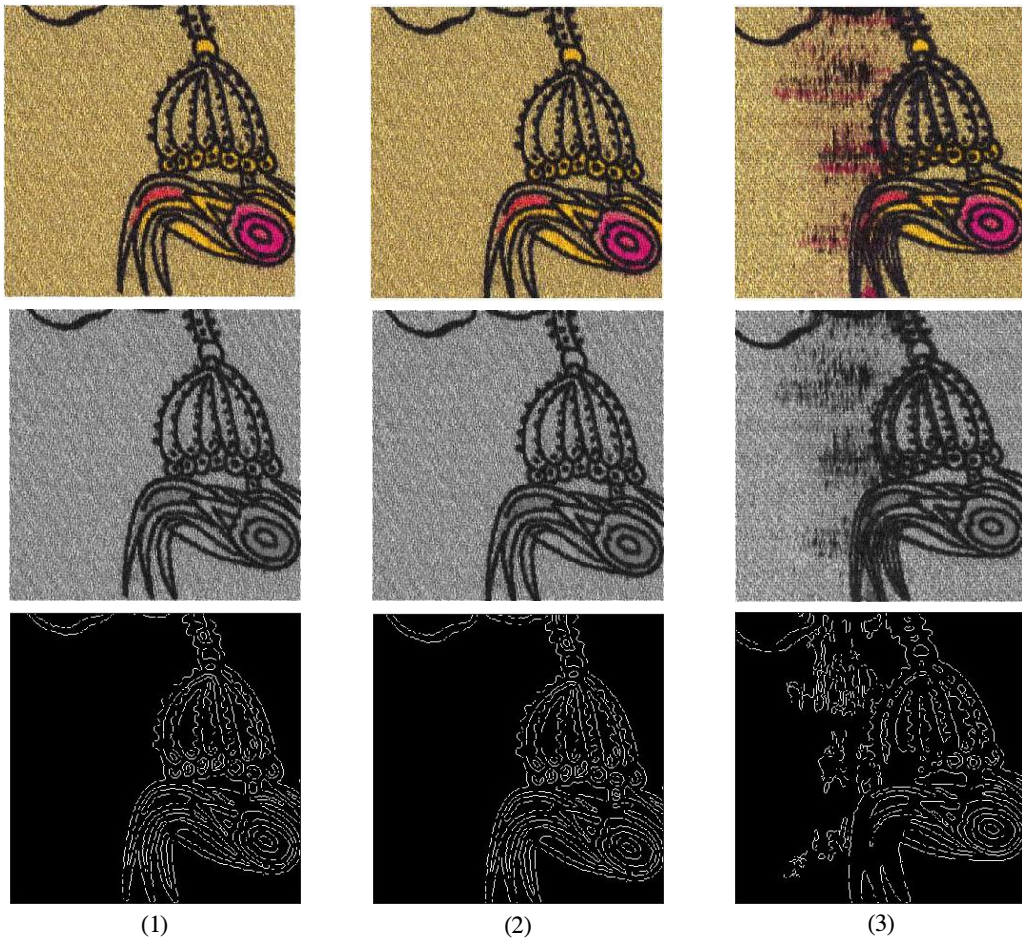


Fig. 7. The images according to image inspection algorithm B
 (1) original image, (2) non-defective image (3) defective image.

유사성을 계산하였을 때 정상 출력된 이미지의 경우 약 95%에서 98% 사이의 유사도를 나타내었다. 따라서 본 논문에서는 유사성이 93% 이하일 경우 결점 영상으로 판별하도록 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 알고리즘 A

색차는 CMC(2:1)을 이용 시 사람의 눈은 색차가 3 이상일 약간의 색의 변화를 인식할 수 있다. 본 논문의 알고리즘 A 그 보다 조금 높은 값인 4를 기준 값으로 설정하였다. 이미지 분석·처리 시스템 상의 조명의 효과와 섬유직물의 경위사에 따른 약간의 이색 현상을 발생을 고려하였다. Fig. 5의 RGB 색공간으로 재구성된 reconstruction image를 CIELAB 색공간으로 변환하여 CMC(l:c) 색차식을 계산하였다. Fig. 6은 색차식에 의하여 검출된 이미지의 결점부분 형태를 명확하게 확인할 수

있도록 흑백 이미지로 변환하여 이미지를 파일로 저장했다. Fig. 6의 (a)는 염료의 번짐에 의한 결점 발생 부분을 (b)는 발색의 불균일 결점 발생 부분을 나타낸다. Fig. 8은 시스템의 분석시간을 보여 주고 있다. 이미지의 해상도에 따라 300×300px(검은색 사각형)가 약 2초, 720×720px(빨간색 원)는 약 5초 정도의 시간이 걸렸다. 직물의 공급 속도가 시간당 14m로서 하나의 이미지의 분석에 필요한 시간은 약 8.5 min 이하이다. 따라서 실시간 검출시스템으로 구동에 충분한 분석 속도를 보여 줬다. 초기의 속도가 높은 것은 초기 이미지를 수집하여 원본 이미지로 사용하기 위하여 한 번 더 수집한 시간으로 인한 것이다.

4.2 알고리즘 B

Fig. 7은 Fig. 2의 알고리즘 B의 분석 과정이다. Fig. 7의 (1)이 원본 디자인, (2)는 정상적으로 출력

된 이미지, (3)은 노즐과 접촉된 결점 이미지이다. 유사성 평가를 위하여 원본 디자인 출력물의 영상을 입력 받아 알고리즘 B에 따라 원본 moment 값을 구한다. 유사성 평가는 견본 값과 같이 수집된 이미지를 화상 분석하여 Zernike moment 값을 구하고 원본 값과 유사성을 비교한다. Table 2.는 각각 이미지의 zernike moment 값과 이미지의 유사성을 표로 나타냈다. 표에서 보는 바와 같이 동일 패턴의 다른 이미지는 96.56%의 유사성을 보인 반면, 노즐 접촉에 의한 결함을 가지는 직물은 80.95%의 유사도를 가졌다. 따라서 결점직물로 판정하였다. Fig. 8의 삼각형 그래프는 알고리즘의 처리속도를 보여준다. 약 1초대의 처리 시간을 가지므로 실시간 분석 시스템으로 충분하다고 할 수 있다.

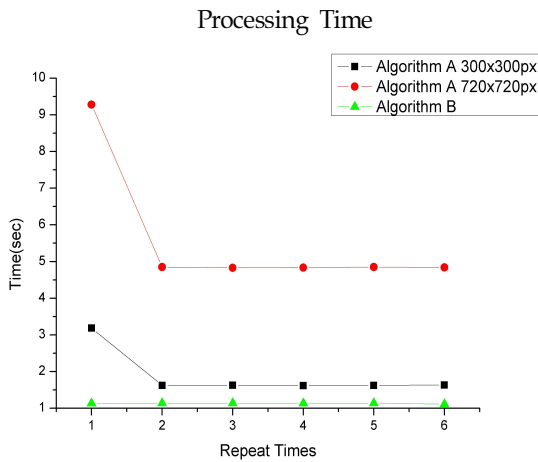


Fig. 8. The time required for image processing.

Table 2. Zernike moment vector

sample	(1)	(2)	(3)
value	1980.2	1912.1	2357.4
image similarity	-	96.56%	80.95

5. 결 론

본 연구는 CCD카메라를 이용해 DTP 날염 제품의 결점 검출 시스템의 개발을 목표로써 DTP에서 나온 직물을 실시간으로 이미지 수집하였다. HSI 색공간으로 변환 후 원 디자인과의 색차를 분석하여 결점을 검출하는 방법과 canny 에지 검출과 zernike moment 계산을 이용한 유사성 평가 결점 검출 방법을 제안하였다. 제안된 두 검출 방법 모두 결점 검출에 성공적 이었다. 하지만 알

고리즘 A의 경우 복잡한 디자인의 직물의 경우 분석시간의 증가와 검출정확도의 저하가 우려된다.

알고리즘 B는 노즐 접촉에 의한 결점 검출에 대한 분석은 좋은 성능을 보이고 있다. 하지만 gray scale image를 사용하는 검출 방법이므로 번짐과 발색 불균일과 같은 색상에 의한 결점의 검출을 위해 다른 결점 검출 방법과 병행된 분석 시스템이 이루어져야 한다. 향후 연구의 진행은 현재의 기하학적 영상처리법을 히스토그램 분석으로 변경하여 검출 능력을 높이고 복잡한 패턴 디자인과 색상에 따른 다양한 결점형태에 대한 분석방법과 검출 알고리즘의 개선이 이루어져야 할 것이다. 완성된 시스템은 DTP 이외의 염색직물의 불량검출과 다른 색상 객체의 검출에도 사용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어 졌음.

참고문헌

1. Kyoung Hee Eom, A Study on the Development Plan for Textile Fashion Industry Through DTP, *Journal of the Korean Society of Design Culture*, **12**(4), 118-130(2006).
2. Sung Hoon Jeong, Hyung Taek Choi, and Cheol Jae Hong, Detecting Fabric Defects Using Image Processing(I), *Journal of Korean Fiber Society*, **37**(1), 34-43(2000).
3. B. Xu, C. Fang, and R. Huang, Chromatic image analysis for cotton trash and color measurements, *Textile Research Journal*, **67**(12), 881-890(1997).
4. Jong Jun Kim, A Study on the Evaluation of Appearance of Solid-shade Fabrics, *Journal of Korean Fiber Society*, **32**(11), 1047-1055(1995).
5. Sung Hoon Jeong, Si Hwan Kim, A Study on the Evaluation of Evenness of the Areal Density of Nonwoven Fabrics(II), *Journal of Korean Fiber Society*, **35**(11), 702-708(1998).
6. D. Heggie, R. H. Wardman, M. R. Luo, A comparison of the colour-differences computed using the CIE94, CMC(l:c) and BFD(l:c) formula, *Journal of the Society of Dyers and Colourists*,

- 112**, 264-268(1996).
7. Sun-Kyoo Hwang, Whoi-Yul Kim, An Efficient Computation Method of Zernike Moments Using Symmetries of the Basis Function, *The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, **31**(5), 563-569(2004).
 8. "User Guide-Image Acquisition Toolbox for Use with MATLAB", *The MathWorks*, 2006.
 9. "User Guide-Image Processing Toolbox for Use with MATLAB", *The MathWorks*, 1999.
 10. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods and Steven L. Eddins, "Digital Image Processing using MATLAB", *Prentice-Hall*, 2003.