

FPD용 컬러 필터의 수지 얼룩 결함 형상화에 관한 연구

A Study on the Visualization of Suzi Mura Defect of FPD Color Filter

권 오 민, 이 정 섭, 박 덕 천, 주 효 남*, 김 준 식

(Oh-Min Kwon, Jung-Seob Lee, Duckchun Park, Hyonam Joo, and Joon-Seek Kim)

Abstract: Detecting defects on FPD (Flat Panel Display) color filter before the full panel is made is important to reduce the manufacturing cost. Among many types of defects, the low contrast blemish such as Suzi Mura is difficult to detect using standard CCD cameras. Even skilled inspectors in the inspection line can hardly identify such defects using bare eyes. To overcome this difficulty, point spectrometer has been used to analyze the spectrum to differentiate such defects from normal color filters. However, scanning ever increasing-size color filters by a point spectrometer takes too long time to be used in real production line. We propose a system using a spectral camera which can be viewed as a line scan camera composed of an array of point spectrometers. Three types of lighting system that exhibit different illumination spectrums are devised together with a calibration method of the proposed spectral camera system. To visualize the defect areas, various processing algorithms to identify and to enhance the small differences in spectrum between defective and normal areas are developed. Experiments shows 85% successful visualization of real samples using the proposed system.

Keywords: machine vision, color filter, FPD, inspection, TFT-LCD, suzi Mura, hyper spectral camera

I. 서론

최근 평판 디스플레이 장비에 대한 연구는 디스플레이 장치 검사장비의 핵심이 되는 Automated Optical Inspection (AOI)장비의 설계 및 제작에 대해 활발히 진행되고 있으며, 실제 라인에 적용되고 있다[1-3]. 이러한 연구를 통해 LCD 패널의 마크인식을 위한 새로운 방식과[4], 라인 스캔 카메라와 영역스캔 카메라를 효과적으로 조합하여 TFT-LCD 표면을 검사하는 방법[5], 그리고 얼룩 검출을 위한 방법들이 제안되고 있다[6].

본 논문에서 검사대상으로 하고 있는 컬러 필터는 적색, 녹색, 청색 3가지 색을 이용하여 미세한 화소 단위로 컬러를 표시 가능하게 하는 박막 필름 형태의 TFT-LCD의 광학 부품이다. 컬러 필터의 구조는 유리기판, black-matrix(BM), red, green, blue, 보호층, ITO층으로 구성된다. 그림 1은 일반적인 컬러 필터의 구조이다[7].

컬러 필터에 생기는 수지 얼룩은 유리기판에 색상을 도포할 때 균일하게 도포가 되지 않아 생기며 주로 라인 형태로 발생한다. 수지 얼룩의 특징은 제품이 거의 완성된 후, 즉, 기판에 전극을 가하면 검출이 가능하지만 이때 불량으로 처리할 경우 많은 손실이 발생하기 때문에 전극을 가하지 않는 상태에서 검출하는 검사가 필요하다. 현재 전극을 가하지 않는 상태에서 검출하는 장비로는 일본에서 출시된

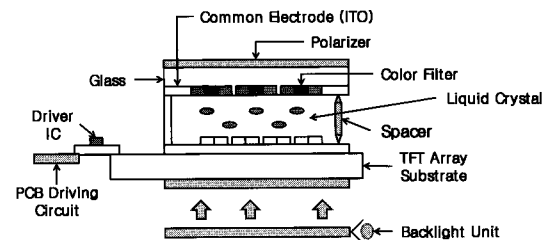


그림 1. 일반적인 컬러 필터 구조.

Fig. 1. The general color filter structure.

수지 얼룩 장비가 있는데 검출률이 50% 밖에 되지 않아 검출률 90%이상의 검사장비의 필요성이 증가되고 있다.

이전 연구에서 컬러 필터의 검사시스템은 포인트 분광기를 이용하여 검사하는 장비를 개발하였다[8]. 하지만 검사 가능한 영역이 매우 작기 때문에 검사 시간이 현저하게 느리다는 단점이 있고, 이는 양산라인에 적용하기엔 치명적인 결점이었다. 이를 보완하고자 본 논문에서는 포인트 분광기와 라인 카메라를 접목한 분광 카메라를 이용하여 검사 영역을 라인으로 확장하여 수지 얼룩을 형상화하는 방법을 제안하였다. 본 논문의 구성은 II 장에서 시스템에 대한 설명을 다루고 III 장에서는 사용된 알고리즘을 설명하였다. IV 장에서는 제안한 시스템과 알고리즘을 적용한 여러 실험결과를 보이며, V 장에서는 결론을 맺는다.

II. 시스템 개요

1. 분광 카메라의 구조 및 원리

일반적인 분광 카메라의 구조 및 원리는 그림 2와 같다. 빛의 파장마다 프리즘의 굴절율이 달라 한쪽 면으로 들어간 빛이 다른 면으로 나올 때 파장 영역에 따라 편각이 달

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 5. 15., 채택확정: 2009. 6. 15.

권오민, 김준식: 호서대학교 전자공학과

(net9410@naver.com/joonskim@hoseo.edu)

이정섭, 박덕천, 주효남: 호서대학교 디지털디스플레이공학과

(icarus629@naver.com/luxferre77@naver.com/hnjoo@hoseo.edu)

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성 사업으로 수행된 연구 결과임.

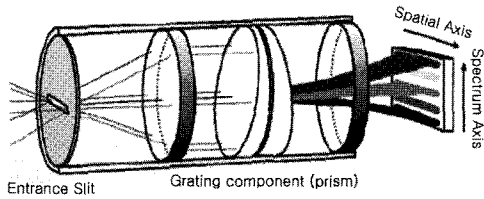


그림 2. 분광 카메라 구조.

Fig. 2. Spectral camera structure.

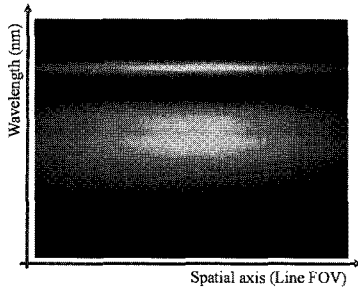


그림 3. 분광 카메라에서 취득된 영상.

Fig. 3. Image acquired from the spectral camera.

라진다. 이런 원리를 이용하여 그림 2의 entrance slit을 통해 들어온 빛을 grating component(prism)을 통해 분광시켜 영상을 취득하게 된다. 영상에서 화소 값은 파장 영역마다의 강도를 나타낸다.

그림 3은 그림 2에서 보인 형태로 이루어진 분광 카메라를 통해 취득된 영상이다. 영상의 column은 공간 영역을 의미하고 row는 분광 영역을 의미한다.

2. 광학 시스템

2.1 기존 광학 시스템

기존 광학 시스템 구조는 그림 4와 같이 포인트 분광기를 사용하여 구성하였다. 사용된 조명은 할로겐 조명으로 가시 영역 파장에서 빛의 강도가 LED 조명보다 세기 때문에 사용되었다.

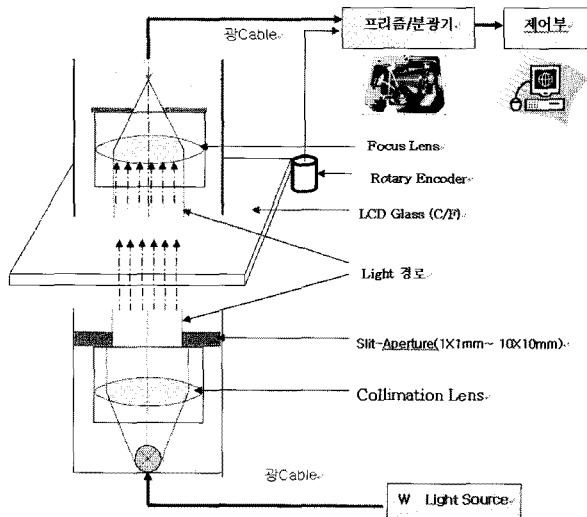


그림 4. 포인트 분광기를 이용한 광학 시스템.

Fig. 4. Optical system using point spectrometer.

2.2 제안한 광학 시스템

기존의 광학 시스템을 보면 점 영역을 검사하는 방법으로 검사 시간이 오래 걸린다는 단점이 있어 양산성에 문제가 있다. 이런 단점을 해결하고자 본 논문에서는 분광기를 사용한 포인트 검사 방식이 아닌 그림 5와 같은 검사 영역을 확장한 라인 형태로 검사가 가능한 분광 카메라를 사용

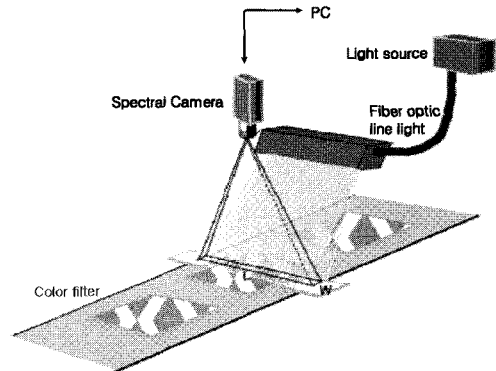
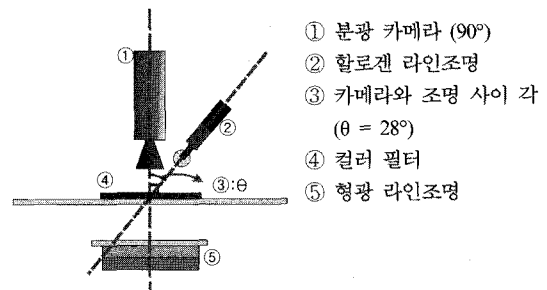
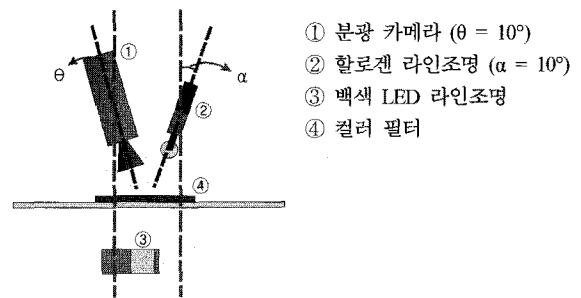


그림 5. 분광 카메라를 이용한 광학 시스템.

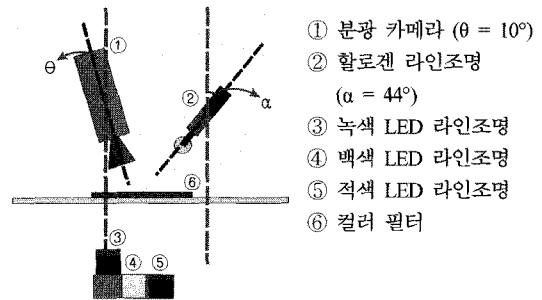
Fig. 5. Optical system using spectral camera.



(a) First optical system



(b) Second optical system



(c) Third optical system

그림 6. 제안한 광학 시스템.

Fig. 6. Proposed optical systems.

한 검사를 제안하였다. 분광 카메라는 일반 CCD 카메라와는 달리 검사 영역의 분광 촬영이 가능하여 사람의 눈으로 감지하기 어려운 분광 차이를 분석하는데 적합하다.

제안한 광학 시스템은 조명 및 카메라의 배치 변화에 따라 그림 6에서 보이는 것과 같이 3가지 형태이다.

제안한 그림 6의 광학시스템들은 각각의 검사성능을 비교하기위해 선정한 시스템이며 이들 중 가장 검사에 적절한 광학시스템을 실험을 통해 결과부분에서 선정하였다. 광학시스템 모두 카메라와 조명 사이에 검사시료를 배치하는 투과방식을 채택하였고 빛의 파장특성이 넓고 균일하게 분포하는 할로겐 조명은 모든 시스템에 공통적으로 적용하였다. 첫 번째 광학시스템 그림 6(a)는 투과를 위한 조명으로 특정 파장에서 높은 광량을 갖는 고주파 형광조명을 선정한 시스템이다. 그림 6(b)는 그림 6(a)와 유사한 형태이지만 투과를 위한 조명으로 빨강, 초록, 파랑 영역에서 비교적 균일한 특성을 나타내는 백색 LED 조명을 선택하여 특정 색의 얼룩을 나타내는 수지얼룩의 검출가능성을 확인하고자 하였다. 그림 6(c)는 백색 LED의 특성을 더욱 분명히 해주기 위해 빨강, 초록의 LED 조명을 함께 적용한 시스템이다.

광학 시스템에서 조명 균일도와 분광 특성은 매우 중요하다. 가장 이상적인 것은 조명 균일도가 모든 위치에서 균일하게 나타나는 것이 가장 좋고 분광 특성도 모든 파장에서 강도가 균일한 것이 이상적이다. 그림 7, 8은 그림 6에서 제안한 각각의 광학 시스템을 적용 후 얻은 분광영상을 분석한 조명의 균일도와 분광특성을 보인다.

그림 6(a) 광학 시스템은 형광 조명을 사용하였기 때문에 조명 균일도는 중심 영역에서 균일하지만 끝으로 갈수록 균일도가 떨어지는 것을 알 수 있다. 분광 특성은 일반적인 형광 조명 분포가 나타났다. 그림 6(b)의 광학 시스템은 백색 LED 라인조명을 사용하였다. 사용한 백색 LED 라

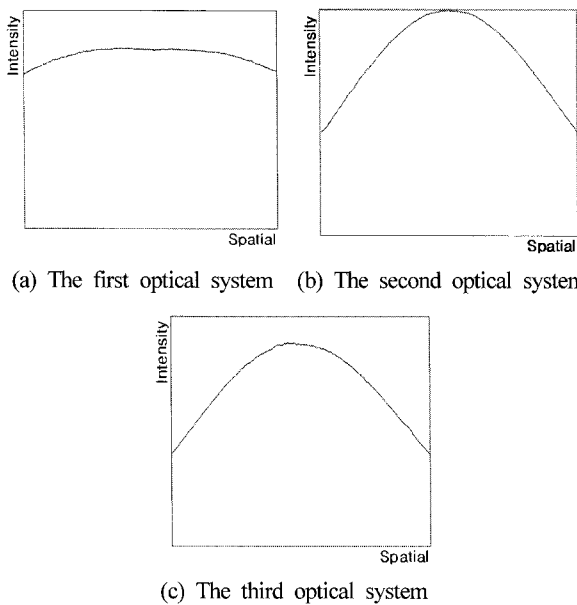


그림 7. 제안한 광학 시스템 조명 균일도.

Fig. 7. The illumination line profiles of the proposed optical systems.

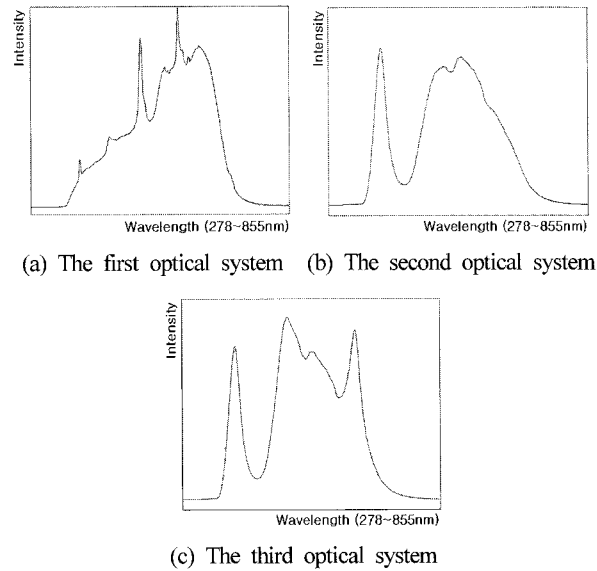


그림 8. 제안한 광학 시스템 분광 특성.

Fig. 8. The spectrums of the proposed optical systems.

인조명의 균일도는 일반적인 형광 조명보다 균일도가 좋지 않았다. 분광 특성은 기존 백색 LED 조명 특성을 보인다. 마지막으로 그림 6(c)의 광학 시스템은 균일도가 그림 6(b)의 광학 시스템과 유사하게 나타나지만 분광 특성은 녹색, 적색, 백색 LED 조명을 사용하였기 때문에 3가지의 분광 특성을 합쳐 놓은 특성을 나타낸다.

2.3 제안한 광학 시스템의 교정

정확한 빛의 특성을 분석하기 위해서 정확한 촬영 위치, 촬영 각도, 분광에 대한 교정이 필요하다. 본 논문에서는 분광 영역과 공간 영역에 대한 교정 방법을 제시한다.

2.3.1 분광 축 교정

분광 축 교정을 통해 입력된 위 그림 3과 같은 영상의 row(spectrum axis)가 좌표마다 빛의 어떤 파장을 나타내고 있으며, 한 개 화소가 어느 정도의 주파수 분해능을 갖는지 알아야 하며, 이에 맞춰 결과를 분석해야 한다. 분광 교정 시에는 기준이 되는 광원이 필요하다. 본 실험에서는 Ocean optics사의 제품인 HG-1을 기준광원으로 분광 교정을 수행

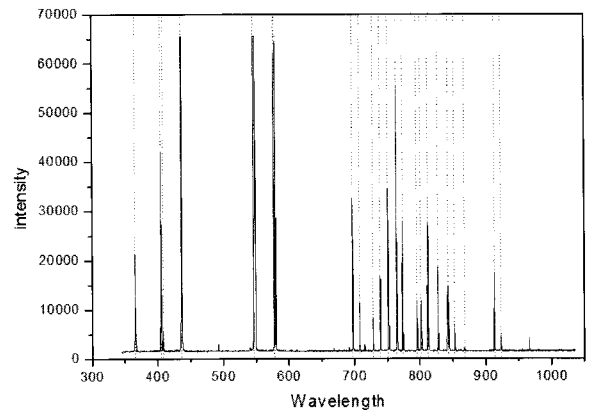


그림 9. 기준광원 HG-1의 분광 특성 그래프.

Fig. 9. Reference spectrum of HG-1 illuminant.

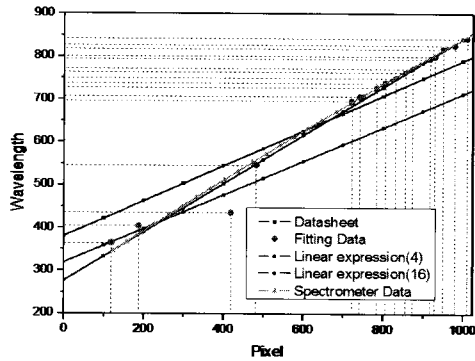


그림 10. 여러 측정 방법을 이용한 분광 데이터 보정 결과.
Fig. 10. Spectrum calibration result.

하였다. 그림 9는 HG-1 광원을 포인트 분광기로 측정된 특성 그래프이다.

제한한 교정 방법은 광원을 포인트 분광기를 통해 얻은 분광의 peak 마다의 파장을 그림 9에서처럼 먼저 취득한 후 같은 광원을 분광 카메라에 입사시켜 데이터를 추출하여 비교하는 방법이다.

그림 10은 분광 카메라 데이터 시트에서 얻은 분광 카메라의 각 row 좌표마다의 분광특성과 HG-1 광원의 각 peak 위치를 이용하여 얻은 분광 데이터를 통해 line-fitting을 수행한 결과를 보이고 있다. 총 16개의 peak 위치를 이용하여 fitting을 수행한 결과와 데이터 시트의 특성이 다르게 측정되었다. 위의 결과를 근거로 한 픽셀에 해당하는 파장 영역 (λ_{ps})을 구하였다. 구하는 방법을 식 (1)에서 보인다.

$$\lambda_{ps} = (S_{max} - S_{min}) / R_n \quad (1)$$

where λ_{ps} : wavelength per pixel size

R_n : number of rows

S_{min} : 실험결과 촬영 가능한 최소파장

S_{max} : 실험결과 촬영 가능한 최대파장

실험 결과 촬영 가능한 최소파장(S_{min})이 278nm 이고 최대파장(S_{max})이 855nm 이었다. 파장 영역의 축(R_n)이 960 개의 픽셀을 가지고 있으므로 한 픽셀 당 촬영 가능한 파장의 크기는 1.66nm라고 할 수 있으며, 이 데이터를 기초로 실험을 진행하였다.

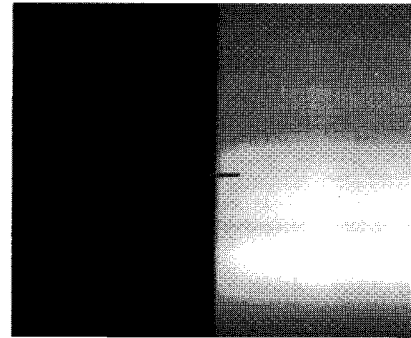
2.3.2 공간 축 교정

공간 축 교정은 영상을 통한 데이터 분석의 필수 조건으로서 정확한 영상을 얻기 위해 촬영 각, 촬영 위치 등 정확한 교정이 필요하다. 이에 따라 초점, X축, Z축 교정 3단계 방법을 제안한다.

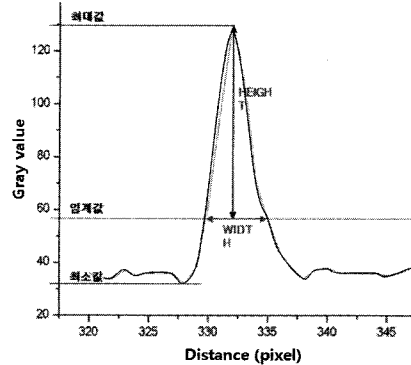
2.3.2.1 초점 교정

일반적으로는 초점 거리를 구할 때 얇은 렌즈 공식을 적용하여 초점 거리를 구한다. 하지만 분광 카메라는 앞단에 분광하는 프리즘이 부착되어 얇은 렌즈 공식에 적용이 불가능하다. 본 논문에서는 실험적으로 초점 거리를 구하는 방법을 고안하여 적용하였다.

흑색과 백색이 있는 시편을 이용하여 분광 카메라로 영상을 취득한다. 취득한 영상을 보면 그림 11(a)와 같다.



(a) The sample image for focus correction



(b) Data analysis method

그림 11. 초점 교정을 위한 시편 영상의 예 및 분석 방법.

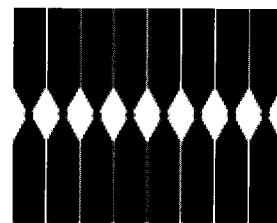
Fig. 11. The sample image and analysis method for focus correction.

취득된 영상에서 색의 경계와 수직한 방향으로 라인프로파일 데이터를 추출한다. 추출한 데이터의 근접 미분 값을 영역마다 구한 후 최소값 보다 임계값 이상 큰 값을 갖는 분포를 분류한 후, 그 분포의 폭을 W, 높이를 H라 하면(그림 11(b)), 초점이 가장 잘 맞았을 때 W로 H를 나누어준 값이 가장 큰 것을 이용하여 초점 보정을 수행하였다.

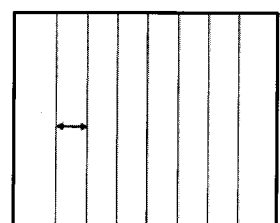
2.3.2.2 축 교정

카메라가 검사 대상을 검사 할 때 검사 방향과 정확히 수직 방향으로 고정되어 있어야 하므로 X, Z축 교정을 수행하여야한다. 교정 방법은 X축 교정 시 그림 12(a)와 같은 시편을 사용하며 Z축 교정 시 그림 12(b)를 사용한다.

카메라가 그림 12(a)에서 보이고 있는 시편의 정확한 가로 방향 즉, X축 방향을 촬영하고 있는지 확인 하기 위한 시편의



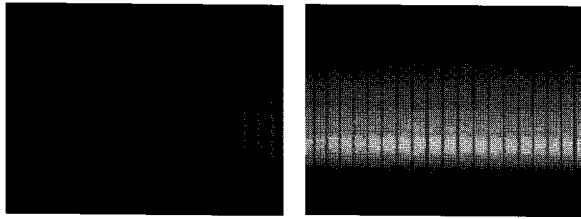
(a) The sample image for X axis correction



(b) The sample image for Z axis correction

그림 12. 축 보정에 쓰인 시편.

Fig. 12. The sample images for axis correction.



(a) The image before correction (b) The image after correction

그림 13. X축 교정 시편을 촬영한 영상.

Fig. 13. Result of X-axis correction.

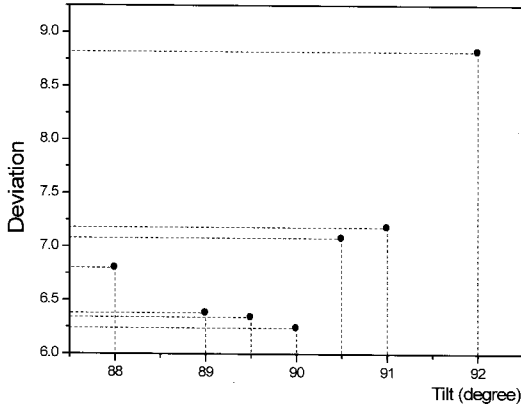


그림 14. Z축 보정 테스트 결과 그래프.

Fig. 14. Result of Z-axis correction.

중앙부분을 촬영한 영상의 보정 전의 영상은 그림 13(a), 보정 후의 영상은 그림 13(b)와 같이 나타나는 것을 알 수 있다. 시편의 중앙 마름모 형태 영역의 한 라인을 정확히 촬영할 경우 그림 13(b)와 같이 등간격의 라인이 촬영된다.

Z축 교정 시에는 그림 12(b)와 같은 시편을 이용한다. 시편을 찍은 영상에서 슬릿 간의 거리를 측정하여 간격 간 표준편차가 가장 작은 값을 가질 때의 Z축 보정 각을 결정한다. Z축 각의 변화에 따른 표준편차 변화를 그림 14에서 보인다.

실험에서는 Z축을 88°에서 92°까지 각을 1°씩 변화 시켜 영상에 나타난 선들의 간격을 측정 후 표준편차가 가장 작았을 때 최적의 교정 각이라 결정하였다. 실험 결과 90°가 최적의 교정 각이라 결정하였다.

III. 제안한 수치 얼룩 형상화 알고리즘

대면적의 컬러필터를 검사하기 위해 본 논문에서는 라인 스캔 방식의 분광 분석 방법을 제안한다. 이 방법을 사용함으로써 검사 시간의 단축과 시각 검사가 어려운 불량에 대한 신뢰성 높은 검사를 기대할 수 있다.

제안한 방법은 대상의 라인영역을 분광 이미지로 보여주는 분광 카메라를 사용하여 대상의 분광 영상을 취득한 후 여러 알고리즘에 적용한다. 결과 데이터를 재조합하여 2D 이미지 형태의 결과 영상을 얻는 방법을 제안하였다. 최종 생성한 이미지는 스캔 영역의 2D 영역이고 시각으로 분별이 어려운 작은 색의 차이를 갖는 수치 얼룩에 대해서도 가시성이 좋도록 형상화 된 영상을 생성할 수 있게 된다.

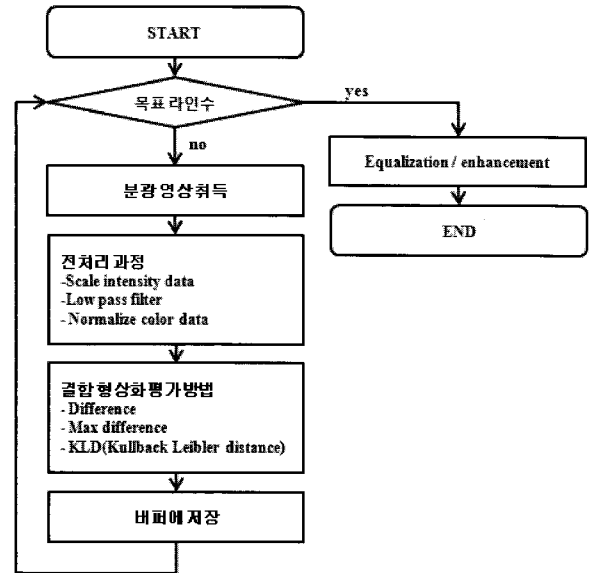


그림 15. 제안한 알고리즘 흐름도.

Fig. 15. Flow chart of the proposed algorithm.

알고리즘 처리 루틴은 그림 15와 같이 크게 전처리 과정과 형상화 과정 2가지로 나눌 수 있다. 전처리 과정은 조명 불균일 및 잡음 제거를 위한 과정이고 결함 형상화 과정은 정상영역과 결함영역에 대한 차이를 극대화하여 가시성이 높아지도록 하기 위한 과정이다.

1. 전처리 과정

본 논문에서 사용된 전처리 과정은 조명 불균일을 개선하기 위한 방법, 컬러 필터 패턴 제거 방법, 데이터 정규화 방법이다. 소개하고 있는 스케일, 저역통과 필터, 정규화 세 가지 방법 중 저역통과 필터는 모든 검사에 기본적으로 적용하였고, 스케일 방법과 정규화 방법은 선택적으로 적용하여 그 성능을 확인하였다.

1.1 스케일을 통한 조명 불균일 개선

영상 데이터는 검사 시 사용하는 조명에 따라 다르게 나타난다. 따라서 영상 취득 시 조명의 불균일에 대한 영향을 최소화하기 위한 전처리과정이 필요하다. 조명 불균일을 개선하기 위해서 조명에 대한 분광 영상을 취득한 후 영상 column의 평균 $MD(c)$ 를 구한다. $MD(c)$ 로 해당 column의 데이터를 각각 나누어 주면 column 별 스케일 계수(scale factor) $C(r,c)$ 를 구하게 된다. 이후 입력된 영상에 대해서는 해당 스케일 계수와 입력 된 영상의 곱하기 연산을 통해 조명에 대한 불균일을 최소화 하게 된다. 분광영상을 $R_n \times C_n$ 사이즈의 영상이라 할 때 스케일 계수 $C(r,c)$ 를 구하는 방식은 다음과 같다.

$$MD(c) = \frac{\sum_{r=1}^{R_n} D(r,c)}{R_n} \quad (2)$$

$$C(r,c) = \frac{D(r,c)}{MD(c)} \begin{cases} c = 1, 2, \dots, C_n \\ r = 1, 2, \dots, R_n \end{cases} \quad (3)$$

where R_n : number of rows on spectral image

C_n : number of columns on spectral image

- $D(r,c)$: pixel value at (r,c)
- (r,c) : pixel coordinate in image
- $MD(c)$: mean pixel value of column c
- $C(r,c)$: scale factors of pixel at (r,c)

식 (2)과 식 (3)의 $D(r,c)$ 는 분광영상 (r,c) 좌표의 화소 값을 말한다. $C(r,c)$ 는 c 번째 column의 평균값인 $MD(c)$ 으로 $D(r,c)$ 를 나눈 스케일 계수를 의미한다. 이렇게 구해진 스케일 계수로 입력 된 영상의 각 좌표의 화소 값을 나누어주면 영상에서 조명의 불균일을 개선할 수 있다.

1.2 저역 통과 필터(LPF, low-pass filter)

분광 카메라를 이용하여 컬러 필터를 촬영하면 그림 16(a)와 같이 컬러 필터의 패턴에 의해 고주파 성분이 나타난다. 고주파 성분에 대한 영향은 매우 작은 차이를 갖는 수지 얼룩 검사 시 큰 영향을 주게 되므로 모든 검사 전 모든 영상에 대해 LPF를 적용하여 그림 16(b)와 같이 왜곡을 최소화 할 수 있도록 패턴을 제거하였다.

1.3 영상데이터의 정규화처리

기준영상과 입력영상 데이터의 차이를 이용한 형상화 방법을 적용하였을 경우 수지 얼룩은 보통 큰 차이를 보이지 않기 때문에 contrast를 높게 하기 위한 방법으로 분광 영상의 영상 데이터를 정규화 하여 비교 분석하는 방법을 사용하였다. 적용 방법은 입력된 분광 영상에서 수평방향의 각 평균값들로 해당 row 라인 각 화소 값들을 나누어 줌으로서 데이터 정규화를 수행하였다. 처리 후의 데이터는 불량 이 없을 경우 모두 1에 가까운 유사한 값으로 분포하게 된다. 하지만 불량이 있는 영역에서는 다른 값을 나타내게 되며 이를 이용하면 형상화에 유리한 결과를 얻을 수 있게 된다. 이 방법은 명도차 분석을 위해 사용한 스케일 방법과는 달리 색차를 분석할 경우 적용하였다.

2. 수지 얼룩 형상화 과정

보이지 않는 수지 얼룩을 형상화하기 위해서는 위에서 논의되었던 전처리 과정 후 그림 17과 같이 형상화 과정을 거치게 된다.

그림 17(a)과 같이 기준영상에 projection을 적용하여 기준 데이터를 추출 후 같은 방법으로 검사영상에서 검사 데이터를 추출한다. 추출한 데이터에서 그림 17(b)와 같이 제안한 알고리즘을 적용하여 한 개 라인의 데이터를 추출한다. 설명한 방법을 여러 라인에 적용하여 한 개의 영상을 형상화 시킨다. 본 논문에서는 수지 얼룩을 형상화시키기 위해서 제안한 4가지 방법을 각각 적용하였다.

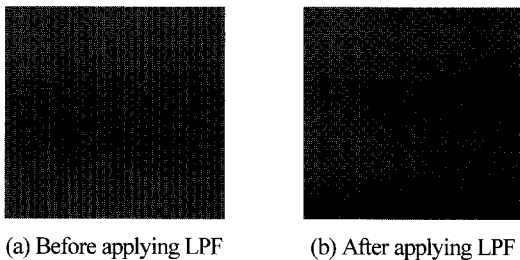
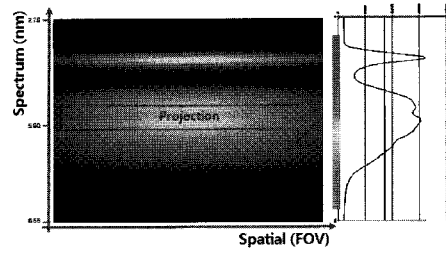
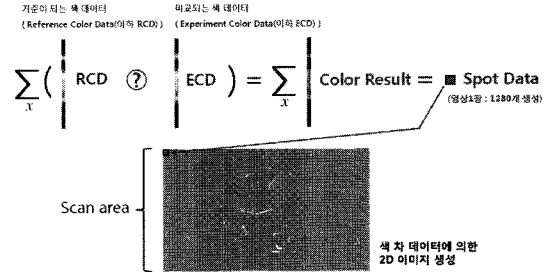


그림 16. LPF 적용 결과.
Fig. 16. The result image after low pass filter(LPF).



(a) Extraction method of data



(b) The application method of proposed algorithm

그림 17. 수지 얼룩 형상화 방법.

Fig. 17. The method visualization of suzi-mura defects.

2.1 Difference와 max-difference 분석 방법

Difference와 max-difference 방법은 비교 분석 시 기준 영상 $D_s(r,c)$ 와 검사 영상 $D_o(r,c)$ 의 차이를 결과로 취하는 방법을 말한다. Difference 방법은 식 (4)과 같이 두 데이터 간의 차이 값을 모두 더한 뒤 평균을 구하는 방법을 말한다.

$$D_{diff}(c) = \frac{\sum_{r=1}^{R_n} \sqrt{(D_s(r,c) - D_o(r,c))^2}}{R_n} \quad (4)$$

where $D_s(r,c)$: reference pixel value at (r,c)

$D_o(r,c)$: object pixel value at (r,c)

max-difference는 식 (5)와같이 두 데이터 간의 차이 값 중 가장 큰 값($D_{maxdiff}$)을 결과로 취하는 방법을 말한다.

$$D_{Maxdiff}(c) = \text{MAX}_{(r=1,2,\dots,R_n)} \{|D_s(r,c) - D_o(r,c)|\} \quad (5)$$

where $D_s(r,c)$: reference pixel value at (r,c)

$D_o(r,c)$: object pixel value at (r,c)

2.2 KLD (Kullback Leibler Distance) 분석 방법

KLD는 두 가지 데이터 분포의 차이 정도를 나타낼 때 가장 널리 사용하는 방법이다. 이 방법을 적용해 얻어진 값은 클수록 두 데이터 간의 분포가 다르게 나타나며, 작을수록 분포가 비슷하다는 것을 의미한다. 기준 데이터 각 column의 PDF (Probability Density Function)를 $P(r,c)$, 입력 영상 각 column의 PDF를 $Q(r,c)$ 라 하면 column c 에서의 $KLD(c)$ 는 식 (6)와 같이 나타낼 수 있다.

$$KLD(c) = \sum_{r=1}^{R_n} P(r,c) \log \frac{P(r,c)}{Q(r,c)} \quad (6)$$

여기서 $P(r,c)$ 는 식 (7)과 같이 기준 영상에 대한 데이터를 나타낸 것이고

$$P(r,c) = \frac{D_s(r,c)}{\sum_{r=1}^{R_n} D_s(r,c)} \quad (7)$$

$Q(r,c)$ 는 식 (8)과 같이 입력 영상에 대한 데이터를 나타낸 것이다.

$$Q(r,c) = \frac{D_o(r,c)}{\sum_{r=1}^{R_n} D_o(r,c)} \quad (8)$$

2.3 Fourier spectrum 차이 분석 방법

분광 영상의 각 column 별 화소 값을 이용하여 1차원 Fourier transform(FT)이 가능하다. 따라서 기준 영상과 검사 영상에서 각 column의 1차원 Fourier spectrum 값을 구한 뒤 이 2가지 데이터의 차이를 이용하여 수치 얼룩 형상화에 적용하였다. 기준 영상의 column c 를 1차원 FT하여 얻은 Fourier spectrum 값을 $F_s(c,u)$, 검사 영상에서 동일 column c 에서의 Fourier spectrum 값은 $F_o(c,u)$ 라 하였고, $F_s(c,u)$ 와 $F_o(c,u)$ 의 spectrum 차이는 식 (9)과 같이 나타내었다.

$$DFT(c) = \sum_{u=u_{min}}^{u_{max}} \sqrt{|F_s(c,u) - F_o(c,u)|^2} \quad (9)$$

where $F_s(c,u)$: FT of reference image at column c

$F_o(c,u)$: FT of object image at column c

위 식 (9)에서 u_{min} 과 u_{max} 는 분광 차가 high-frequency에 나타나는지 low-frequency에서 나타나는지를 알기 위해 분광 차 분석영역을 선정하기 위한 사용자 정의 값이다. 이는 수치 얼룩의 형상이 일반적으로 low-frequency에서 나타나는 것을 고려한 것이다.

IV. 실험 결과 및 고찰

논문에서 제안하는 방법을 평가하기 위해 실제 시각으로 확인이 불가능한 수치 얼룩 시료를 이용하여 실험하였다. 실험결과 수치 얼룩의 형상화를 검사 가능성을 확인하였다. 실험 환경은 암실에서 제작한 테스트 베드를 이용해 분광 카메라의 프레임 수와 이동 속도를 교정 하였다. 테스트 베드 이동 속도는 2cm/s 으로 고정 하였고 촬영 속도는 10(frame/sec), 촬영 라인 수는 500라인으로 고정하였다.

실험에 사용 된 형상화 알고리즘들은 앞으로 Alg suffix로 표기하겠다. 여기서, suffix는 본 논문에서 소개한 13가지의 형상화 방법을 기호로 나타낸 것이며, 이는 표 1과 같다.

표 2는 표 1에서 소개한 알고리즘들의 표기법을 설명한 것이다. 예를 들면 Alg_NLPFMaxdiff는 전처리 과정으로 데이터 정규화와 저역 통과 필터를 거친 후 max-difference 방법을 적용한 알고리즘을 표기한 것이다.

본 논문에서는 제안한 3가지 광학 시스템에 대해서 실험을 하였고 취득된 영상에 표 1의 제안한 알고리즘들을 적용하여 수치 얼룩 결함 형상화 가능 여부를 판단하였다.

표 1. 적용한 알고리즘들을 나타내는 suffix들의 종류와 설명.

Table 1. The applied algorithm suffixes using symbol concatenation and their explanations.

번호	종류	사용 방법
1	2DSLPF	- low pass filter - scale - intensity difference
2	2DNdiffLPF	- normalize - low pass filter - spectrum difference
3	2DdiffLPF	- low pass filter - spectrum difference
4	2DSdiffLPF	- scale - low pass filter - spectrum difference
5	2DMaxdiffLPF	- low pass filter - spectrum max difference
6	2DNMaxdiffLPF	- low pass filter - normalize - spectrum max difference
7	2DSMaxdiffLPF	- low pass filter - normalize - spectrum max difference
8	2DKLDLPF	- low pass filter - KLD algorithm
9	2DNKLDLPF	- low pass filter - normalize - KLD algorithm
10	2DSKLDLPF	- low pass filter - scale - KLD algorithm
11	2DFTLPF	- low pass filter - FT difference
12	2DNFTLPF	- low pass filter - normalize - FT difference
13	2DSFTLPF	- low pass filter - scale - FT difference

표 2. 각 알고리즘 별 표기 기호 및 설명.

Table 2. Symbols used to represent different algorithms and their explanations.

표기	처리 단계	설명
S	전처리	조명 불균일 개선을 위한 영상 scale (명도 차 검사 시)
N		데이터 정규화 (색차 검사 시)
LPF		저역 통과 필터
KLD	형상화	Kullback Leibler distance 사용
Maxdiff		비교 데이터의 차이를 구한 후 얻어진 데이터 중 최대값 사용
Diff		비교 데이터 차의 평균 사용
FT		기준 영상과 검사 영상의 1차원 FT를 통해 얻어진 spectrum 차이를 이용하는 방법

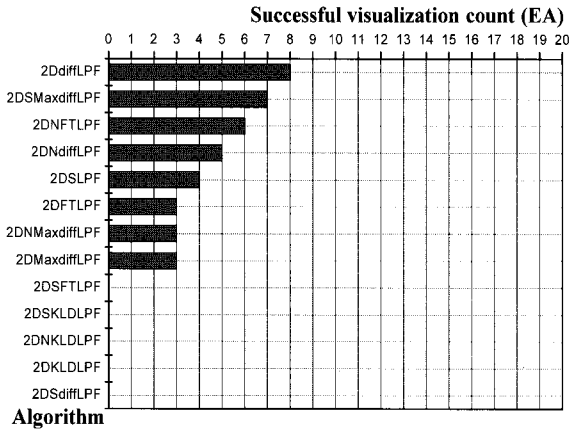


그림 18. 첫 번째 광학 시스템에서의 알고리즘 별 형상화 결과 비교.

Fig. 18. Comparison of successful visualization count for different types of algorithms under proposed optical system 1.

첫 번째 실험 환경은 앞서 소개한 첫 번째 광학 시스템을 기반으로 20개의 컬러 필터에 대해서 실험하였다. 그림 18에서 적용한 각 알고리즘 별로 형상화에 성공한 횟수를 그래프로 나타내었다.

실험 결과 Alg_2DdiffLPP를 적용하였을 때 20개 중 8개 정도 형상화가 가능하기 때문에 최대 40%의 형상화 성능을 보였다.

다음으로 파장 영역에 따라 검사 영역에 대해서 실험 하였다. 검사 영역은 300nm ~ 400nm, 400 ~ 500nm, 500nm ~ 600nm, 600nm ~ 700nm 으로 나누었고, 위의 실험에서 형상화에 용이한 Alg_2DdiffLPP 알고리즘을 적용하였다. 그림 19는 파장 영역 별 Alg_2DdiffLPP 알고리즘을 적용한 결과이다. 영상에 네모 박스로 표기한 영역이 수치얼룩의 영역을 나타내며 이 외 영역의 라인형태로 나타난 부분은 시료의 스크래치가 촬영 된 것이다.

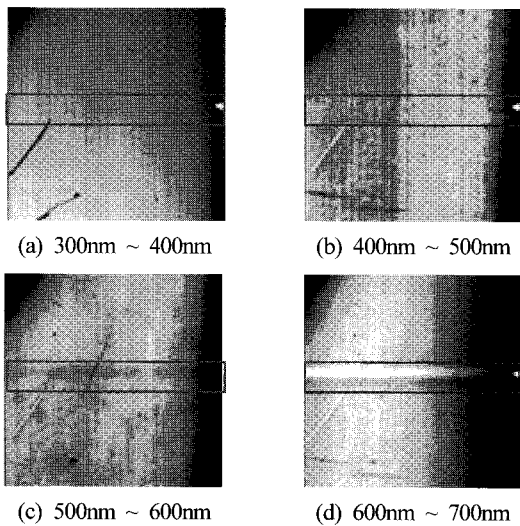


그림 19. 파장 대에 따른 Alg_2DdiffLPP 적용 결과.
Fig. 19. The results of algorithm Alg_2DdiffLPP for various wavelength channel.

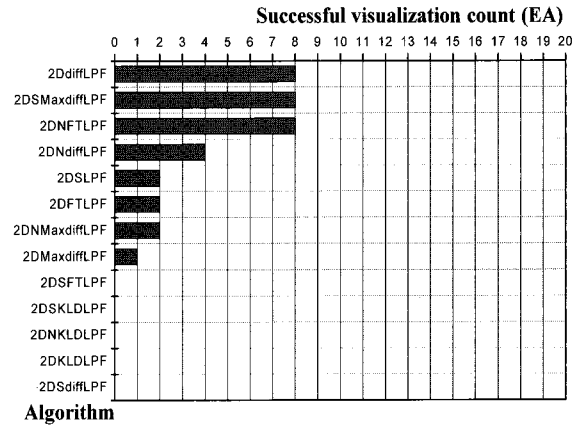


그림 20. 두 번째 광학 시스템에서의 알고리즘 별 형상화 결과 비교.

Fig. 20. Comparison of successful visualization count for different types of algorithms under proposed optical system 2.

파장 영역에 따른 형상화 결과를 보면 600nm ~ 700nm의 파장 영역이 다른 파장 영역보다 수치 얼룩의 형상화에 용이 하였다.

두 번째 실험 환경은 백색 LED 라인조명과 할로겐 조명을 이용한 두 번째 광학 시스템 기반으로 첫 번째 실험 방법과 동일하게 실험하였다.

테스트 결과 그림 20에서와 같이 Alg_2DdiffLPP, Alg_2DSMaxdiffLPP, Alg_2DNFTLPP 3가지 알고리즘을 적용하였을 때 20개 중 8개 정도 성공하여 최대 40%의 형상화 가능성을 보였다.

그림 21, 22, 23는 파장 영역 별로 형상화에 용이한 3가지 알고리즘을 적용한 결과이다. 결과 영상에서 사각형으로 그려진 영역이 수치 얼룩이다. 그림 21은 Alg_2DdiffLPP를 적용한 결과를 나타낸 것으로 500nm ~ 600nm 영역에서 가장 형상화가 잘되었다. 그림 22은 Alg_2DSMaxdiffLPP를 적

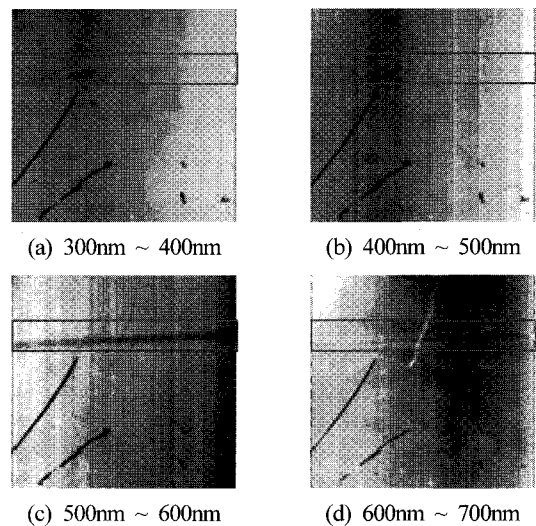


그림 21. 파장 대에 따른 Alg_2DdiffLPP 적용 결과.
Fig. 21. The results of Alg_2DdiffLPP algorithm for various wavelength channels.

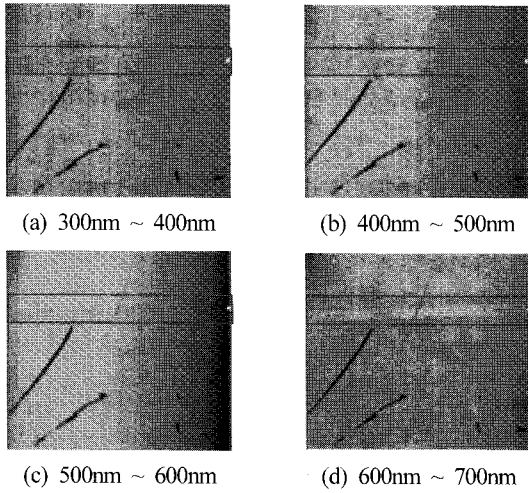


그림 22. 파장 대에 따른 Alg_2DSMaxdiffLPF 적용 결과.
 Fig. 22. The results of Alg_2DSMaxdiffLPF algorithm for various wavelength channels.

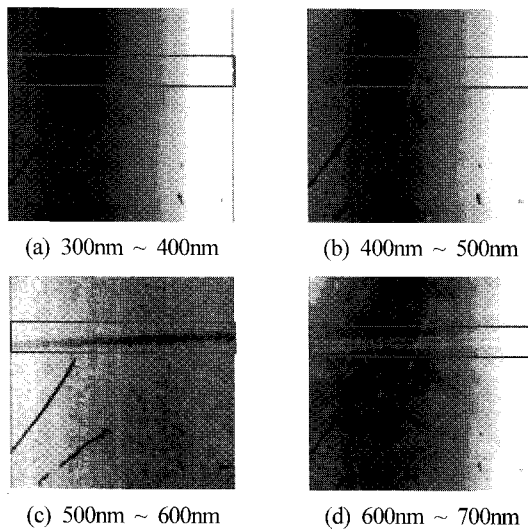


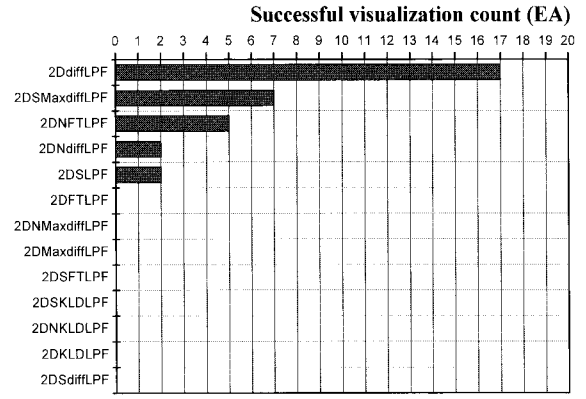
그림 23. 파장 대에 따른 Alg_2DNFTLPF 적용 결과.
 Fig. 23. The results of Alg_2DNFTLPF algorithm for various wave length channels.

용한 결과 영상으로 이것 또한 500nm ~ 600nm 영역에서 가장 형상화가 잘되었다. 마지막으로 그림 23는 Alg_2DNFTLPF를 적용한 결과 영상으로 그림 21, 22과 마찬가지로 500nm ~ 600nm에서 형상화가 가장 잘 이루어졌다.

마지막 실험 환경은 백색 LED 라인조명, 할로겐 조명, 적색 LED 라인조명 그리고 녹색 LED 라인조명을 사용한 3번째 광학 시스템을 기반으로 위의 실험들과 동일하게 하였다.

테스트 결과 그림 24에서와 같이 Alg_2DdiffLPF 알고리즘을 적용하였을 때 20개 중 17개 정도 성공하여 최대 85%의 형상화 가능성을 확인하였다.

그림 25는 위 결과에서 검출율이 가장 높은 Alg_2DdiffLPF 알고리즘을 적용 후 파장 영역을 나누어 실험한 결과이다. 파장 영역 별 실험한 결과 600nm ~ 700nm에서



Algorithm
 그림 24. 세 번째 광학 시스템에서의 알고리즘 별 형상화 결과 비교.

Fig. 24. Comparison of successful visualization count for different types of algorithms under proposed optical system 3.

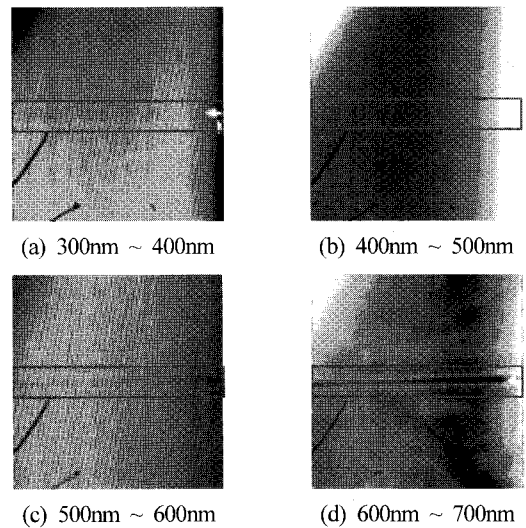
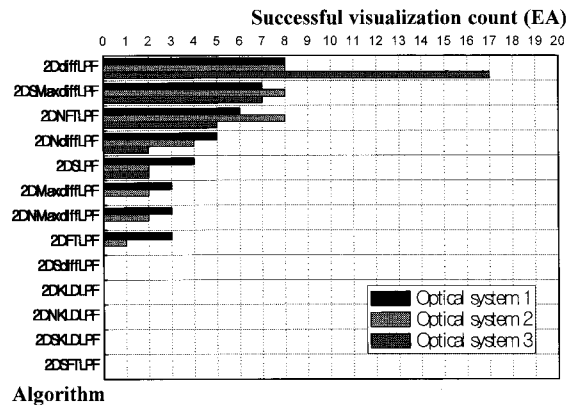


그림 25. 파장 대에 따른 Alg_2DdiffLPF 적용 결과.
 Fig. 25. The results of Alg_2DdiffLPF algorithm for various wavelength channels.



Algorithm
 그림 26. 제한한 광학시스템에서의 각 알고리즘 별 테스트 결과.
 Fig. 26. Comparison of successful visualization count for different types of algorithms under proposed optical systems.

형상화가 가장 용이하였다.

위의 3가지 광학 시스템에서 실험한 데이터를 정리해 보면 그림 26와 같은 결과를 나타낸다.

3가지 환경에서 Alg_2DdiffLPF를 적용 시 수치 얼룩 형상화가 가장 용이한 것을 알 수 있다. 또한 실험결과를 통해 첫 번째, 두 번째 광학 시스템보다 빨강, 초록, 파랑 영역의 특성이 비교적 균일하게 분포하는 것으로 알려진 LED 백색조명과 이를 더욱 분명히 해주도록 빨강, 초록 LED 조명을 조합하여 구성한 세 번째 광학 시스템에서 형상화 가능성이 가장 높은 것을 확인하였다. 이는 수치얼룩 검출을 위해서는 광원이 파장별로 강하고 균일한 특성을 가질 때 검출이 용이하다는 것을 의미한다.

파장 영역별로 검출 용이성을 보면 첫 번째, 세 번째 광학 시스템에서는 600nm ~ 700nm, 두 번째 광학 시스템에서는 500nm ~ 600nm에서 형상화가 잘 되었다. 즉 600nm ~ 700nm의 파장을 이용한 형상화가 비교적 잘 이루어지는 것 또한 실험을 통해 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 일반적인 광학 시스템 및 영상 처리 기법으로 검출이 불가능한 컬러 필터의 수치 얼룩을 분광 카메라를 사용하여 형상화하는 방법을 제안하였다.

분광카메라는 기존의 일반 카메라의 보정방식과 다른 보정과정 필요하여 보정에 필요한 방법을 제안하였다. 또한, 광학 시스템 구성방법 중 조명환경 구성에 있어서는 다양한 파장의 성분을 갖고 있는 조명환경 제안하였고 형상화에 효과적인 것을 실험을 통해 확인하였다.

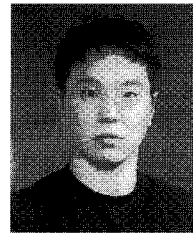
검사에 사용한 분광 카메라에 의한 분광영상은 빛의 파장별 강도를 나타내는데 파장 영역 별로 형상화 실험을 수행한 결과 600nm ~ 700nm영역에서 수치 얼룩의 형상화가 잘 이루어지는 결과를 얻었다. 알고리즘은 총 13개를 제안하였고, 적용결과 Alg_2DdiffLPF를 적용하였을 때 형상화가 가장 잘 이루어 졌다. 제안한 세 번째 광학 시스템 환경에서 Alg_2DdiffLPF 알고리즘을 적용 결과 85%의 높은 형상화 성능을 확인하였다. 전처리 부분에 설명하였던 스케일 방법이나 정규화 방법을 적용하지 않은 경우가 더 명확한 결과가 나온 이유로는 수치얼룩에 의한 데이터의 차이가 매우 작아 스케일이나 정규화 같은 처리는 이를 감쇠시키는 결과를 가져오는 것으로 보인다.

향후 연구로는 수치 얼룩을 형상화한 영상에서 수치 얼룩을 검출하는 방법 및 실제 공정에 적용하는 방법연구를 계획 중이다.

참고문헌

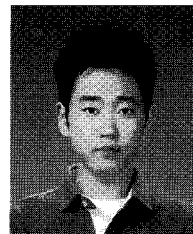
- [1] 강희권, "TFT-LCD panel에서의 line-mura 검출 자동화 시스템 개발," 서울대학교 대학원, 2005.
- [2] 박성재, 김민수, 김준식, 주효남, "FPD 결함 검사를 위한 vision inspection system 설계에 관한 연구," 공업기술연구소 논문집, 제24권, pp. 123-136, 2005.
- [3] 조찬형, "LCD 광학 검사 장치 개발에 관한 연구," 금오공과대학교 산업대학원, 2007.

- [4] 김진수, "머신 비전을 이용한 LCD 패널 마크 인식," 성균관대학교 대학원, 2007.
- [5] 고민석, "TFT-LCD 표면 검사를 위한 라인 스캔 영상의 재구성," 경북대학교 대학원, 2006.
- [6] 문경수, "Robust Regression을 이용한 TFT-LCD의 Mura 검출에 관한 연구," 아주대학교 대학원, 2008.
- [7] 서용원, "디스플레이용 컬러 필터 분야 특허 동향," 정보통신연구진흥원 학술정보 주간기술동향, 1228호, 2005.
- [8] 강민철, "LCD 컬러 필터 단차 얼룩 결함 검사 시스템과 검출 방법," 호서대학교 대학원, 2006.



권오민

2007년 호서대학교 전자공학(공학사). 2007년~현재 호서대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학 중. 관심분야는 조명 설계, 광학 시스템, 반도체/디스플레이용 비전 검사 장비개발.



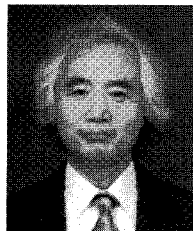
이정섭

2007년 호서대학교 정보제어학과(공학사). 2007년~현재 호서대학교 대학원 디지털디스플레이공학과 석사과정 재학 중. 관심분야는 패턴인식, 반도체/디스플레이용 비전 검사 장비개발.



박덕천

2003년 호서대학교 물리학과(이학사). 2008년 호서대학교 디지털디스플레이공학과 대학원(공학석사). 2008년 동대학원(공학박사과정입학).



주효남

1976년 서울대학교 전기공학(공학사). 1976년~1982년 국방과학연구소(선임연구원). 1985년 Virginia Polytechnic Institute & State Univ. VA, USA 전기전자공학(공학석사). 1985년~1987년 Machine Vision International(선임연구원). 1990년~1996년 The Boeing Company(Principal Engineer). 1991년 Univ. of Washington 전기전자공학(공학박사). 1996년~2000년 삼성전자 생산기술센터 자동화연구소(연구소장). 2000년~2002년 (주)넥스트아이 연구개발 부문(사장). 2002년~현재 호서대학교 디스플레이공학부 교수. 2003년~2007년 호서대학교 반도체 제조장비 국산화 연구센터(소장). 최근 연구과제로는 반도체 소자의 결함 검사를 위한 Vision Inspection Module 개발, FPD종합 구동 검사용 Vision Inspection Module 개발, LCD 핵심 부품용 검사장비 개발.



김 준 식

1987년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업. 1989년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1993년 8월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1993년 9월~1994년 2월 서강대학교 부설산업기술연구소 박사후연구원. 1994년 3월~현재 호서 대학교 전자공학과 교수. 2007년 1월~2008년 2월 Southern Oregon University 방문교수. 관심분야는 digital image processing, machine vision, 영상 압축, 반도체/디스플레이 검사장비 등.