

논문 2008-45IE-2-4

편광필름 결함검출을 위한 영상처리기법

(An Image Processing Technique for Polarizing Film Defects Detection)

손상욱*, 류근택**, 배현덕***

(Sang-wook Sohn, Geun-taek Ryu, and Hyeon-Deok Bae)

요약

본 논문에서는 TFT-LCD 편광필름의 결함을 검출하기 위한 새로운 영상처리기법을 제안한다. 레이저 반사광을 이용하여 획득한 편광필름 영상에서 우선 배경잡음을 제거하기 위하여 형태론적 영상처리기법(열림, 닫힘)을 사용한다. 배경잡음이 제거된 영상으로부터 결함을 검출하기 위하여 2차원 LMS 적응 예측기를 사용하여 밝은 결함을 검출하고 통계적 특성을 이용하여 어두운 결함을 검출한다. 산업현장에서 제공된 TFT-LCD 편광필름을 사용하여 제안된 기법의 성능을 평가한다.

Abstract

In this paper, we propose a new image processing technique that reliably detects the various defects of TFT-LCD polarizing films. The image of polarizing film is acquired from reflected laser beam. First, we apply the morphological image processing technique to remove the background noise. Next, we use the 2-dimensional LMS adaptive filtering and statistical characteristics to detect the white and black defects. Performance of the proposed method is evaluated on real TFT-LCD polarizing film samples.

Keywords : TFT-LCD polarizing film, defects detection, morphological image processing, 2-dimensional LMS

I. 서론

최근 FPD (Flat Panel Display) 시장이 커짐에 따라 TFT-LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)의 품질이 중요한 문제로 대두되고 있다^[1-3]. TFT-LCD의 품질은 TFT-LCD 편광필름(이하 편광필름)과 밀접한 관련이 있으며, 이 편광필름에는 제조 공정상에서 불가피하게 다양한 결함이 발생되고 있다. 편광필름상의 결함은 TV나 모니터 등의 디스플레이장

치로 완성되었을 때 빛의 산란이나 흑점, 백점 등의 오류로 나타난다. 따라서 완성품이 아닌 재료상태인 필름 자체에서 결함을 검출할 필요가 있는데, 현장에서는 결함을 검출하기 위하여 사람의 시력에 의존한 전수검사가 수행되고 있다. 하지만 이러한 결함 검출 방법은 검사자마다 판단 기준이 다르며 항상 같은 판단을 할 수 없는 경우가 발생한다. 또한 검사자들의 숙련 정도에 따라 인건비 상승과 판단 능력을 유지하기 위한 재교육 비용의 증가라는 단점이 있기 때문에 자동결함검사 장치가 요구되고 있는 실정이다.

자동결함검사 장치는 비전 (vision) 시스템을 이용한 영상획득 및 영상처리 기법을 이용하게 된다. 영상획득 기법에는 대표적으로 반사기법과 투과기법이 있으며 광원의 종류, 카메라의 위치에 따라 획득된 영상에는 다양한 특징이 나타난다^[1,3].

비전 시스템에 의하여 획득된 영상에는 배경 잡음과 함께 광원의 불균일로 인한 일부영역은 상대적으로 밝

* 학생회원, *** 평생회원-교신저자, 충북대학교 전기공학과

(Department of Electrical Engineering, Chungbuk National University)

** 정회원, 극동정보대학 보건의료공학과

(Department of Biomedical Engineering, Keukdong College)

※ 이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의해 연구되었음

접수일자: 2008년3월4일, 수정완료일: 2008년6월5일

고 모서리 부분은 상대적으로 어두운 왜곡현상이 발생하며 이를 해결하기 위하여 비전 시스템의 구조 변경과 영상처리 기법관련 연구가 이루어지고 있다^[4~10]. 선행 연구에서는 배경잡음을 제거하거나 결함을 강조하기 위하여 영역성장(region growing) 기법^[5~8], 배경신호를 평활화하는 B-스플라인(spline)기법^[8], 다항식 근사(polynomial approximation)기법^[9], MMTF(modified modulation transfer function)기법^[10] 등이 사용되었다. 이러한 기법은 결함의 위치에 따라 배경 잡음과 결함의 차이가 줄어드는 경향이 있으며 배경잡음의 패턴이 일정하지 않을 경우 그 성능이 저하되는 경향을 보인다. 또한 이러한 알고리즘에 기반을 둔 기법은 많은 계산량으로 인하여 영상처리시간이 증가하며, 또한 여러 원인들로부터 발생하는 각 결함마다 최적화된 알고리즘이 요구된다. 그리고 영상획득 시 편광필름의 고유한 특성에 의한 배경잡음은 발생하며 같은 제조공정 상 생산된 편광필름 간에도 배경잡음의 특성이 다르므로 효과적인 검출 및 제거가 필요하다.

본 논문에서는 편광필름의 결함을 검출하기 위한 결함검출 알고리즘을 제안한다. 레이저를 이용하는 비전 시스템에서는 반사광을 통하여 편광필름의 영상을 획득하고 형태론적 (morphological) 영상처리 기반의 열림(opening)과 닫힘(closing) 연산을 이용하여 배경잡음을 제거한다^[11]. 배경잡음이 제거된 영상으로부터 2차원 LMS (Least Mean Square) 적응 예측기법을^[12] 통해 밝은 결함을 검출하고 통계적 특성을 고려하여 어두운 결함을 검출한다. 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 실제 생산 현장에서 공급된 다수의 편광필름을 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 알고리즘의 성능을 검증한다.

II. 비전시스템

제조 공정상에서 발생한 편광필름의 결함을 정확하게 검출하기 위해서는 영상처리를 위한 효과적인 영상 데이터 획득이 선행되어야 한다. 그림 1은 편광필름의 반사 영상획득을 위한 비전 시스템의 개념도이다. 레이저를 이용하는 면광원을 편광필름에 투사하고 반사된 영상이 맞은편 스크린에 상이 맺히도록 한다. 이 상을 다시 면(area)카메라를 이용하여 획득하며 영상처리 알고리즘을 통하여 결함을 검출한다. 그러나 제안한 비전 시스템 역시 물결무늬 모양의 배경 잡음에 의해 획득 데이터의 오염과 편광필름의 고유 특성에 의한 왜곡의

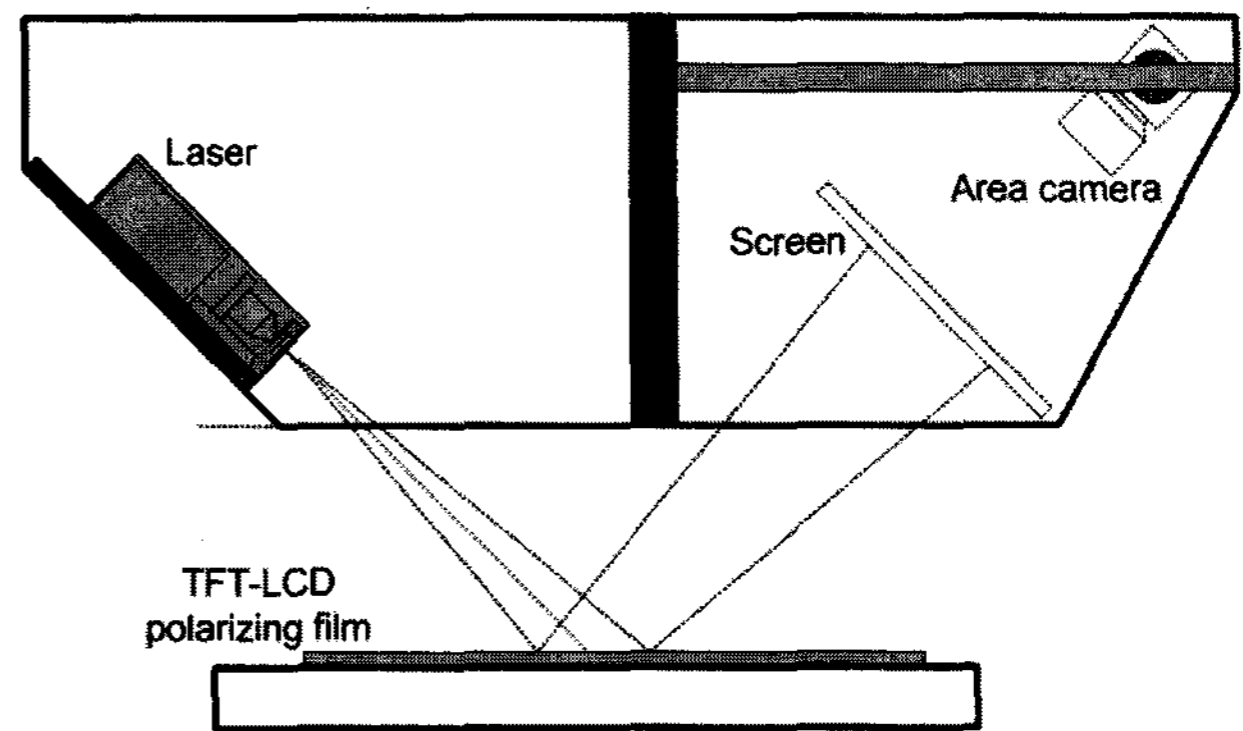


그림 1. 반사기법의 비전 시스템

Fig. 1. The vision system using laser reflection.

표 1. TFT-LCD 편광필름의 4가지 결함 종류

Table 1. 4 type defects of TFT-LCD polarizing film.

결함 종류	배경잡음 밝기	결함 밝기	비고
Type 1	어둡다	어둡다	검출 어려움
Type 2	어둡다	밝다	쉽게 검출
Type 3	밝다	어둡다	쉽게 검출
Type 4	밝다	밝다	검출 어려움

등의 문제점이 발생한다. 또한 레이저 소스를 이용 면광원으로 만들기 위해 필요한 편광필터의 불균일한 성질에 의하여 왜곡이 발생한다. 이러한 왜곡과 배경 잡음은 결함과 거의 비슷한 밝기 값을 가지지 때문에 서로 구별하기 어렵다. 그리고 특정영역이 상대적으로 밝거나 어두운 왜곡 현상으로 인하여 모든 영역에서 동일하게 정한 기준 값을 적용하는 이진화 기법 같은 간단한 영상처리 알고리즘으로 결함을 검출하는 것은 거의 불가능하다.

반사기법은 투과기법과 달리 결함 종류를 구별하기가 쉽지는 않으나, 투과기법에서는 얻어질 수 없는 결함 영상까지 획득할 수 있는 장점이 있다. 그러므로 검출하고자 하는 결함에 따라 두 기법의 적절한 선택이 필요하다. 본 논문에서 사용되는 반사기법의 경우, 결함은 배경잡음의 밝기와 결함의 밝기에 의해 4가지 종류로 구별되며 표 1과 같이 정리할 수 있다. 결함이 배경잡음과 서로 다른 밝기를(type 2, 3) 가질 경우 비교적 쉽게 검출되는 반면, 같은 밝기를(type 1, 4) 가질 경우 결함검출은 어려워지게 된다.

그림 1의 비전 시스템을 이용하여 획득한 편광필름의 다양한 영상의 예는 그림 2와 같다. 그림 2 (a)의 영상으로부터는 반사광에 의해 발생하는 물결무늬의 배경

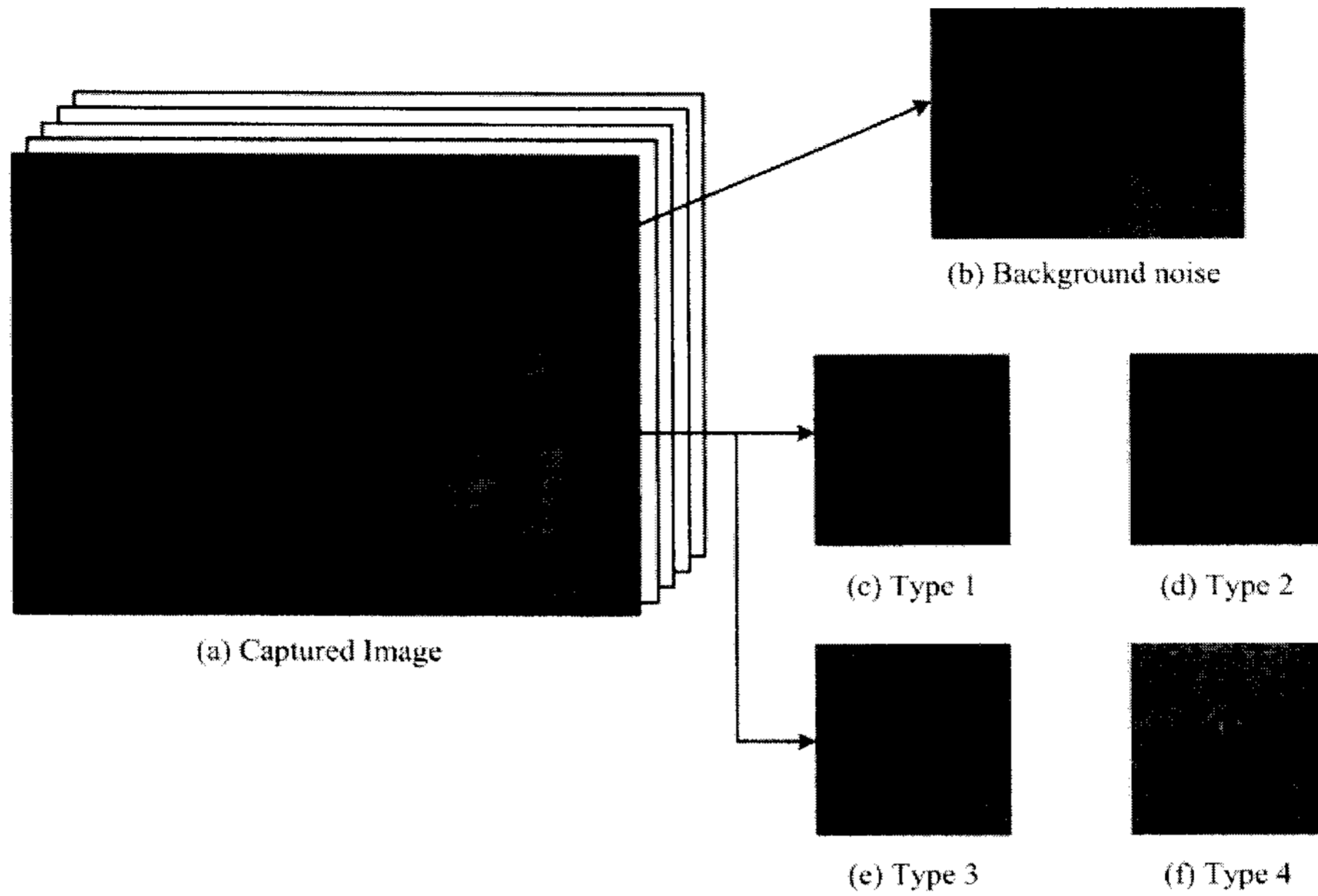


그림 2. TFT-LCD 편광필름의 다양한 결함
Fig. 2. Various defects on TFT-LCD polarizing film.

잡음과 광원의 불 균일로 인해 우측면의 영상이 좌측면의 영상보다 밝은 왜곡을 확인 할 수 있다. 그림 2(b)의 영상은 각 필름마다 다른 형태를 가지며 밝고 어두운 면이 반복되는 물결무늬의 배경잡음에 대하여 자세히 나타내고 있다. 그림 2 (c),(d)에는 4가지 종류의 결함을 각각 나타내었다. 이러한 결함들은 편광필름 보호용 필름을 코팅하는 과정, 재단하는 과정, 편광필름을 등글게 마는 과정 같은 제조 공정상에서 필연적으로 발생하며, 그 크기와 형태가 모두 다르게 발생한다.

III. 결함 검출 알고리즘

편광필름 결함을 검출하기 위하여 그림 3과 같은 3가지 과정을 거치는 알고리즘을 제안한다. 첫 번째 과정

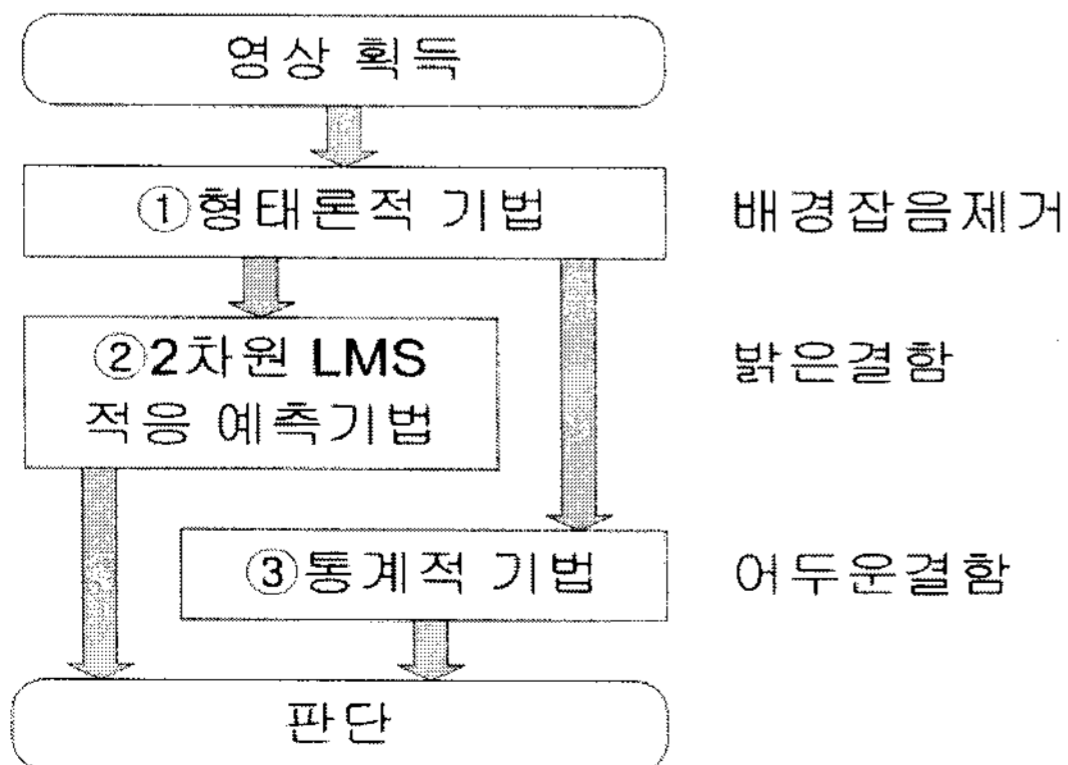


그림 3. 편광필름 결함 검출 과정
Fig. 3. Polarizing film defects detection procedure.

으로 배경 잡음을 제거하기 위하여 형태론적 기법의 열림(opening)과 닫힘(closing)을 사용한다. 열림 연산과 닫힘 연산으로 획득된 두 영상의 차 영상으로부터 배경 잡음을 제거한다. 두 번째 과정으로 밝은 결함을 검출하기 위하여 적응 기법을 사용하며, 마지막 과정으로 어두운 결함을 검출하기 위하여 영상의 통계적 특성을 이용한다.

1. 형태론적 기법을 이용한 배경잡음 제거

형태론적 영상처리 기법인 열림과 닫힘 연산은 일반적으로 영상처리에서 영상을 확대하고 축소함을 의미한

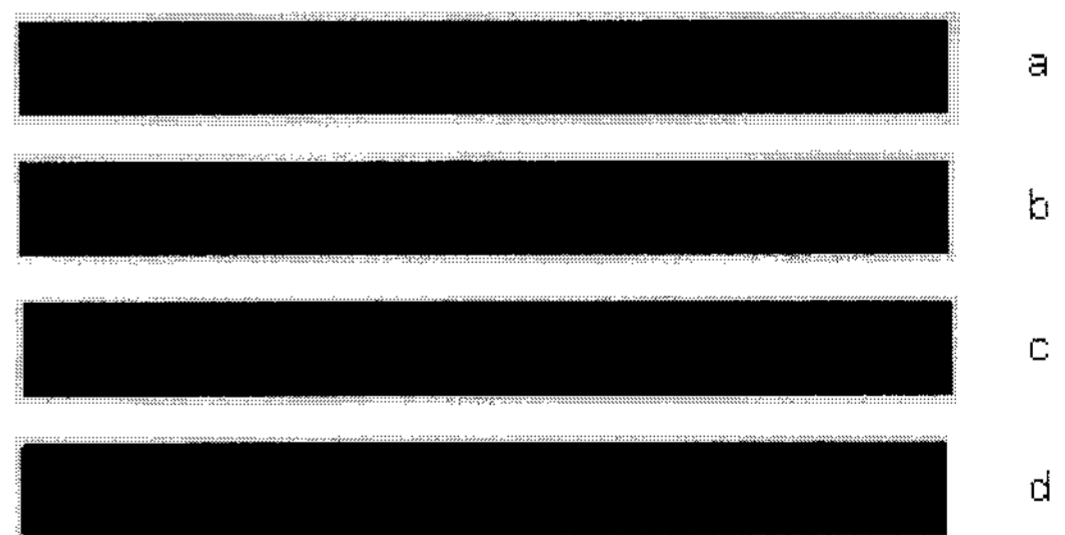


그림 4. 열림과 닫힘에 의한 배경잡음 제거(300 by 300) (a) 획득한 원 영상 (b) 열림 연산 수행한 영상 (c) 닫힘 연산 수행한 영상 (d) (b)와(c)의 차 영상

Fig. 4. The process of removing background noise using opening and closing operation (300 by 300) (a) captured original image (b) opened image (c) closed image (d) difference image of (b) and (c).

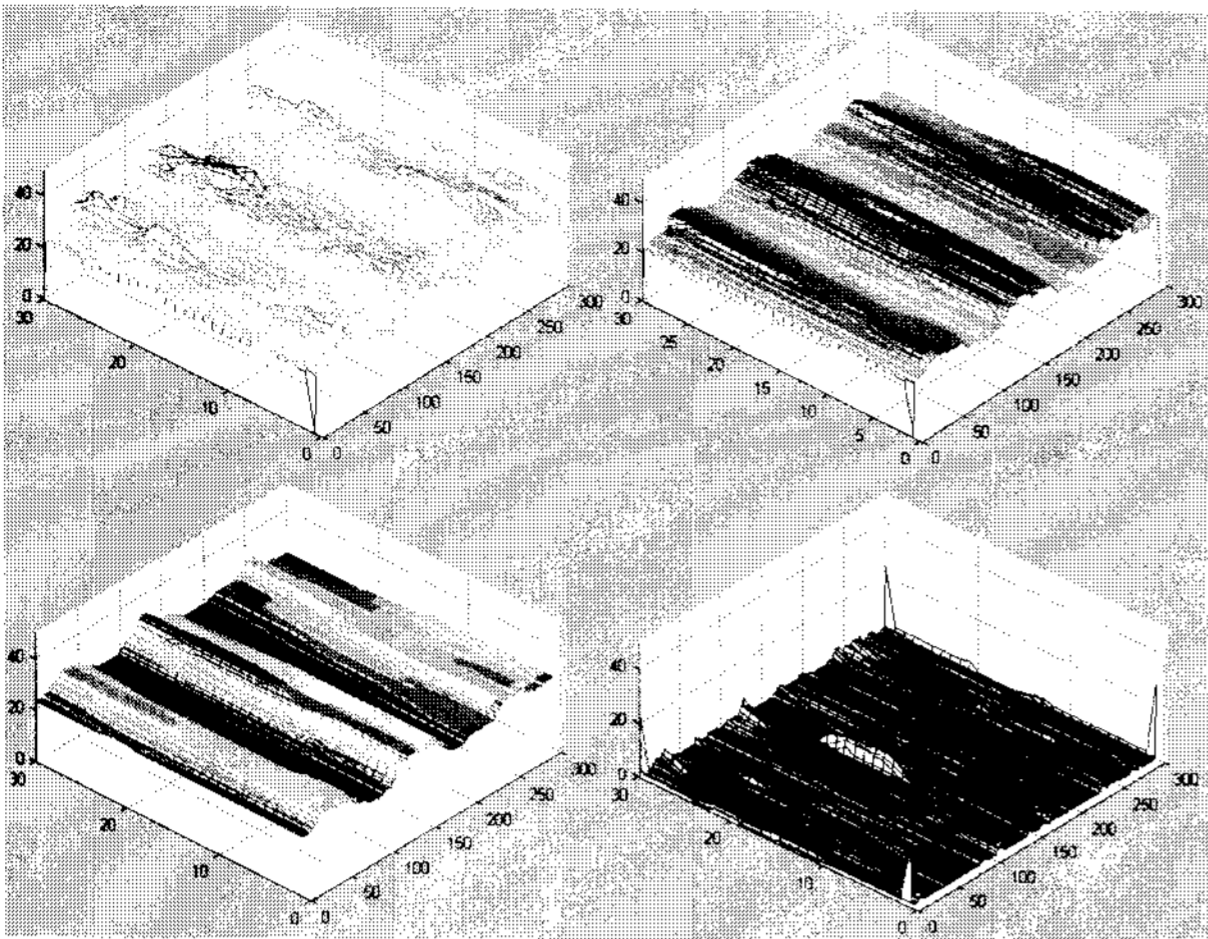


그림 5. 3차원 영상표현 (300 by 30) (a)원 영상 (b) 열림 (c) 닫힘 (d) (b)와(c) 차 영상

Fig. 5. 3D mesh representation of image (300 by 30) (a) Captured image (b) opened image (c) closed image (d) difference image of (b) and (c).

다. 그림 4는 열림과 닫힘 연산을 응용하여 물결무늬를 제거하는 과정을 보여준다. 원 영상에서 열림은 (그림 4 (b)) 일반적으로 영상의 외곽선 부분들을 부드럽게 하고, 좁은 지협을 나누며 얇은 돌출 부분들을 제거하게 된다. 닫힘은 (그림 4 (c)) 좁은 지협들을 얇게 만들어 합치고 작은 구멍을 제거하여 외곽선의 간격을 매우게 된다^[11]. 열림과 닫힘 연산으로 구해진 영상의 오차 (그림 4 (d))로부터 배경 잡음이 잘 제거된 영상을 획득하고 이 영상을 이용함으로써 결함을 용이하게 검출할 수 있게 된다. 그림 5에서는 그림 4의 열림과 닫힘 연산의 과정을 3차원으로 표현한다. 그림 5 (b) 와 (c) 영상에서 원 영상보다 외곽선이 부드러워진 것을 확인 할 수 있으며, 오차 영상인 그림 5 (d)의 (15,145)의 지점에서 결함이 있음을 확인 할 수 있다.

2. 2차원 LMS적응 예측기법 이용 밝은 결함 검출

형태론적 기법을 사용하여 배경잡음을 제거 하였지만 약간의 배경잡음이 남아있으며 광원의 불 균일로 인한 왜곡현상이 남아 있기 때문에 일정한 기준 값을 적용한 이진화 기법 혹은 윤곽선 검출 같은 간단한 영상 처리 알고리즘으로는 결함을 쉽게 검출할 수 없다. 그러므로 표 1의 4가지 종류의 결함 중 밝은 결함 (type 2, 4)을 검출하기 위하여 2차원 LMS 적응 예측기를 사용한다. LMS 적응 예측기는 인접한 데이터를 이용한 추정을 통하여 배경잡음을 제거하고 밝은 결함을 부각시킬 수 있는 유용한 기법이다^[12].

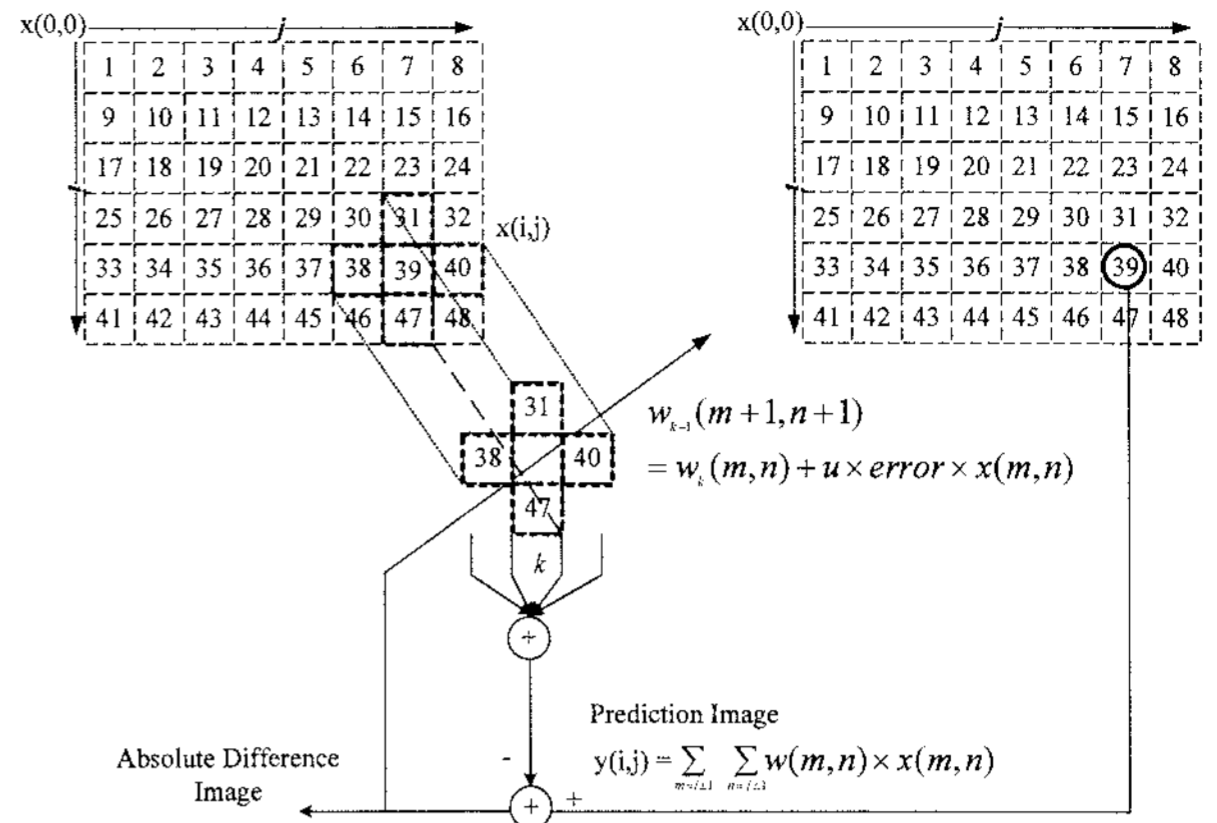


그림 6. 2차원 적응 예측

Fig. 6. 2-dimensional adaptive prediction.

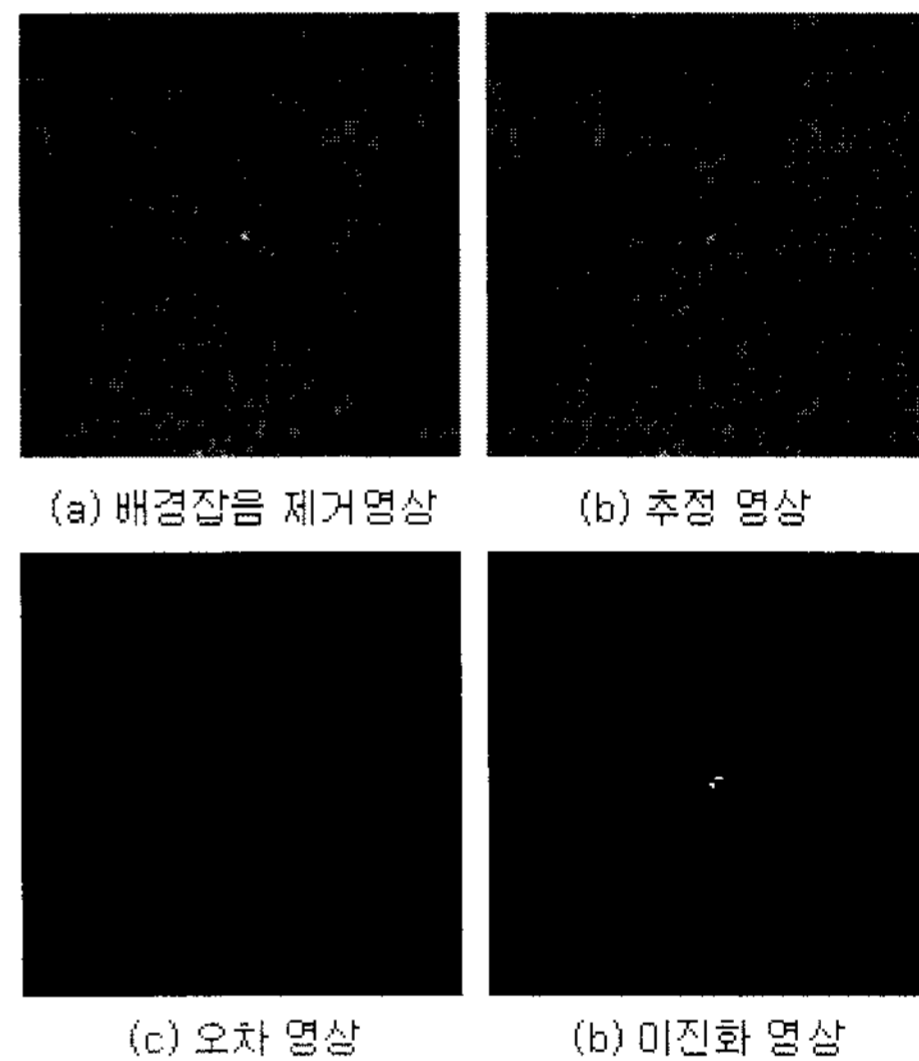


그림 7. 2차원 LMS 적응 예측기법을 이용한 밝은 결함 검출 영상처리 과정(150 by 150)

Fig. 7. The image processing procedure for white defect detection using adaptive prediction.(150 by 150)

먼저 임의의 픽셀 값을 추정하기 위하여 인접 영역의 픽셀 값을 사용한다. 영상처리에 2차원 LMS 적응 예측기를 사용하는 것은 윈도우 크기에 따라 많은 계산량이 요구된다. 그렇지만 그림 6과 같이 상, 하, 좌, 우에 인접한 4개의 픽셀만 이용하여 영상을 추정하고 계수를 갱신하면 계산량 문제를 해결할 수 있다. 4개의 인접 픽셀을 이용하여 절대 오차 영상, $|error|$ 은 다음과 같이 구한다.

$$error = x(i,j) - y(i,j) = x(i,j) - \sum_{m=i-1}^{i+1} \sum_{n=j-1}^{j+1} w(m,n) \times x(m,n) \quad (1)$$

$$w_{k+1}(m+1, n+1) = w_k(m, n) + \mu \times error \times x(m, n) \quad (2)$$

여기서 x 는 원 영상, i 와 j 는 x 축 y 축 인덱스를 의미한다. 그리고 $w(m,n)$ 는 적응필터 계수를 나타내며 계수 갱신식은 식(2)와 같다. 여기서 μ 는 적응 필터의 스텝 사이즈 (step size)이다. 다음으로 추정된 배경 영상과 원래 영상의 차로부터 배경 잡음이 거의 제거된 절대오차영상을 구한다. 이러한 영상처리과정을 그림 7에 나타내었다. 그림 7 (a)는 배경잡음이 제거된 편광필름 영상, (b)는 2차원 LMS 적응 예측기를 사용한 추정 영상, (c)는 (a)와 (b)의 절대오차영상이며 (d)는 미디언 (median) 필터의 후처리 과정을 거친 영상으로 배경잡음이 잘 제거된 결함을 찾아 낼 수 있다.

3. 통계적 기법 이용 어두운 결함 검출

적응필터를 사용할 경우 어두운 결함은 매우 잘 추정되어 오차 이미지를 구했을 경우 거의 발견되지 않는 문제점이 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 영역 평균을 이용하여 이진화를 통한 결함을 찾고자 한다. m by m 의 인접한 픽셀을 이용하여 국부 평균을 (Local Mean: LM) 구하고, 이를 n by n 영역의 국부 영역과 비교하여 결함의 유무를 판별한다. 이때 m 은 n 보다 큰 값을 가지도록 선택한다. 이 과정은 6단계로 이루어지며 다음과 같다.

- step. 1 물결무늬가 제거된 영상의 m by m 국부 평균 (LM)을 구한다.
- step. 2 가중치 $\alpha(0.1 \leq \alpha \leq 0.9)$ 의 값을 LM에 곱한다.
low = $\alpha \times LM$
- step. 3 국부 영역 n by n 영역의 각 픽셀 값을 step2에서 구한 값과 비교한다.
- step. 4 step. 3의 결과가 step. 2의 low보다 작으면 temp=temp+1의 연산을 수행하여 값이 low보다 작은 픽셀 수를 구한다.
- step. 5 n by n 영역에 대하여 3, 4번 과정이 완료되면 temp값과 기준 값 (THV)을 비교한다.
case 1, temp < THV : 배경잡음
case 2 temp > THV : 결함

의 과정을 거쳐 결함 여부를 판단하여 결함으로 판단되면 대표 값으로 0을, 배경 영역에 대하여는 값을 255로 한다.(여기서 α 와 THV 값은 실험적으로 구한 값이다.) 그림 8에 150 by 150 크기의 모양이 다른 어두운 결함 영상 (a)와 (c)을 사용하여 결함을 검출한 결과영상을 (b)와 (d)에 나타내었다. 이 결과로부터 배경잡음이 잘

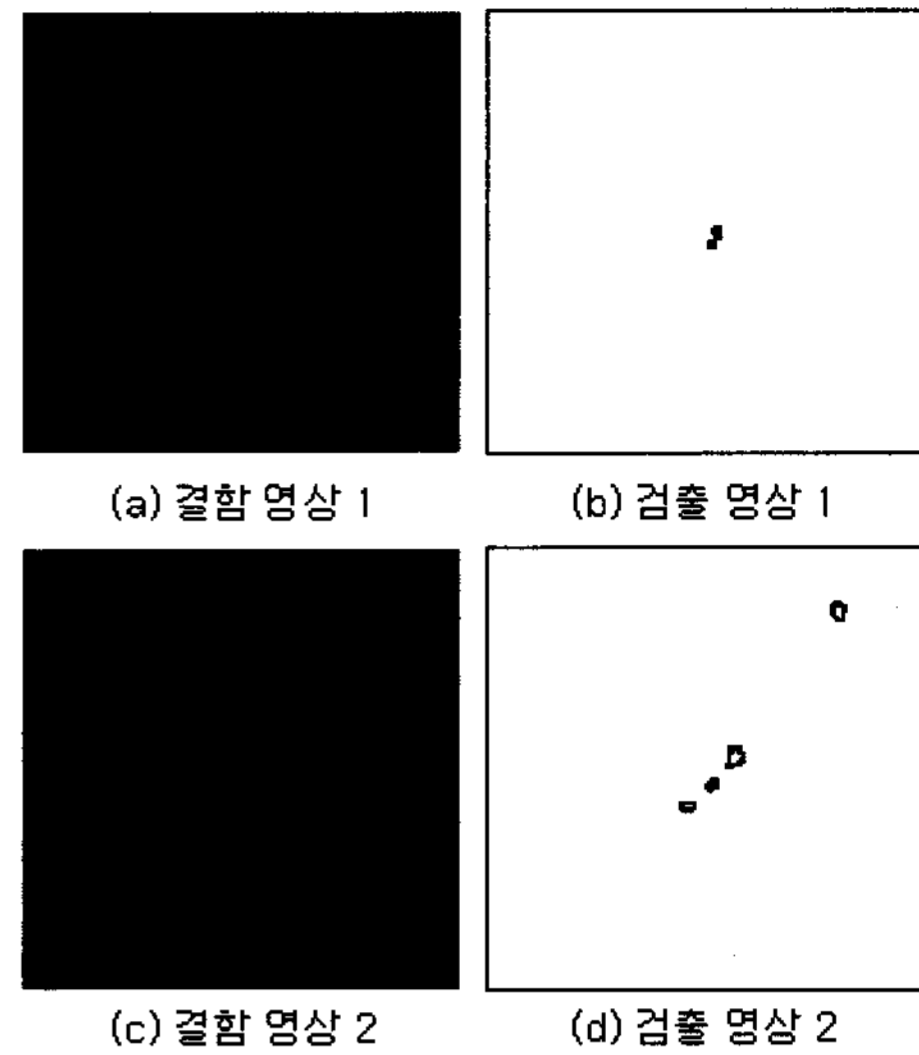


그림 8. 통계적 기법을 이용한 어두운 결함 검출 과정 (150 by 150)
Fig. 8. The processing of black defect detection using statistical characteristics.(150 by 150)

제거된 결함을 찾아내는데 통계적 기법이 유용함을 확인 할 수 있다.

IV. 실험 결과

제안된 편광필름 결함검출기법의 성능 평가를 위해 산업현장에서 제공된 편광필름 샘플과 다음의 파라미터 값을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 2차원 LMS 적응 예측기의 스텝 사이즈, $\mu = 0.0001$, 통계적 기법에서 $\alpha=0.7$, 국부영역 사이즈 $m=15$, $n=3$, THV=3를 사용한다.

그림 9는 획득한 편광필름 영상에 대한 밝은 결함과 어두운 결함 검출 결과이다. 그림 9 (a)는 그림 1의 비전 시스템에 의해 획득된 원 영상, (b)는 닫힘과 열림 연산을 이용하여 배경잡음이 제거된 영상, (c)는 적응기법을 이용한 밝은 결함 (type 2, 4) 검출영상, (d)는 통계적 기법을 이용한 어두운 결함 (type 1, 3) 검출영상이다. 이 실험으로부터 열림과 닫힘에 의해 배경잡음이 제거된 영상에서 적응예측기법과 통계적 기법으로 밝은 결함과 어두운 결함을 잘 검출할 수 있음을 알 수 있다.

표 2는 다수의 결함 영상에 대하여 배경잡음을 제거함에 있어 열림과 닫힘 연산 과정의 처리 영역을 달리 하였을 경우 결함 검출능력을 비교하였다. 처리 영역의 크기를 달리 하더라도 검출능력은 거의 동일 하지만 옵션 3과 4의 경우 물결무늬의 경계영역(밝은 배경잡음과

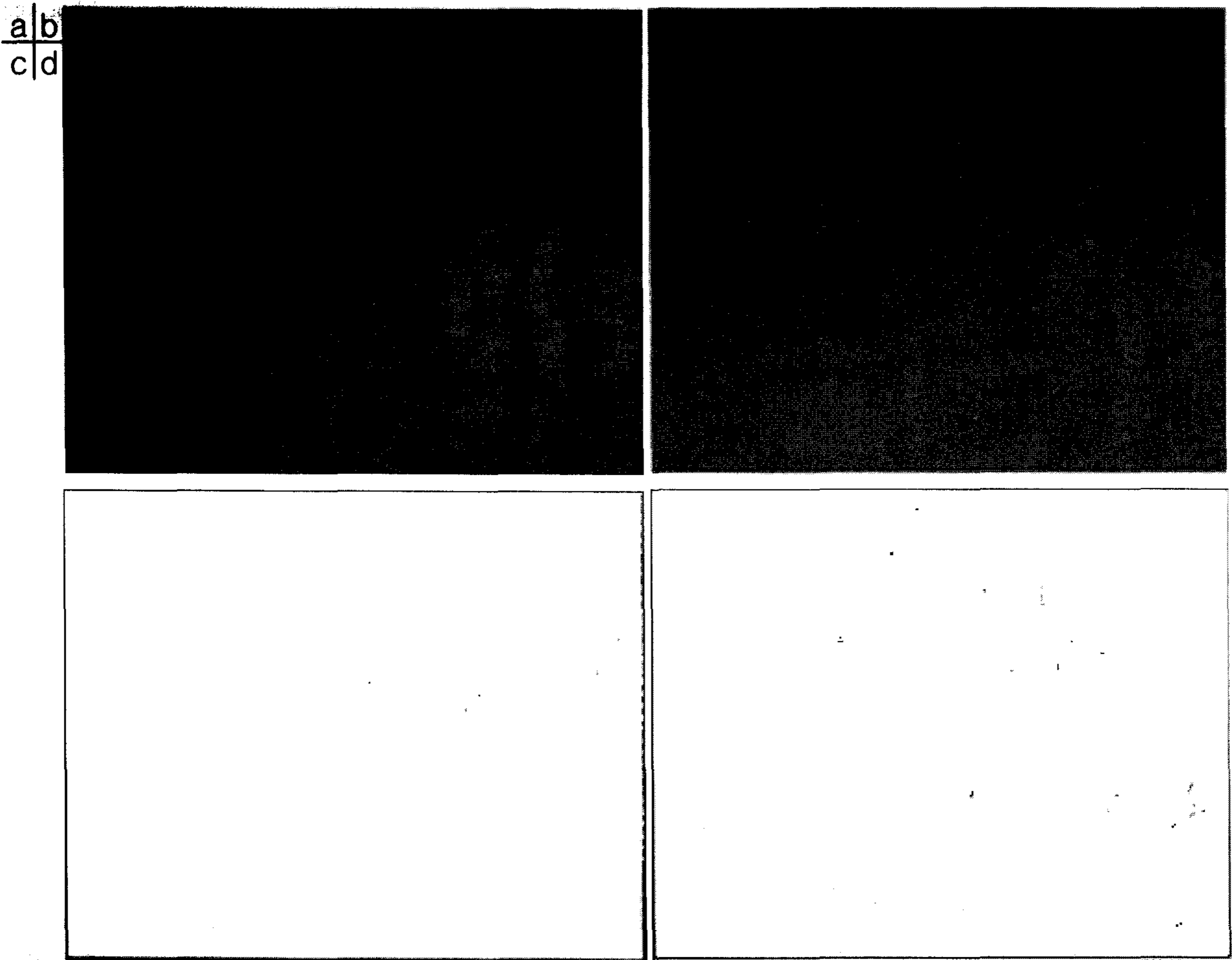


그림 9. 밝은 결함과 어두운 결함 검출 결과 (a) 획득영상, (b) 배경잡음 제거영상 (c) 밝은 결함 검출영상(type 2 and 4) (d) 어두운 결함(type 1 and 3) 검출영상

Fig. 9. Detection results of bright defect and dark defect (a) acquired image, (b) noise removed image, (c) white defect detection image, (d) black defect detection image.

표 2. 4가지 결함의 결함 검출 성능 비교 (열림 n by b, 닫힘 m by m)
Table 2. 4 type defects detection performance(opening n by n, and closing m by m).

결함 종류	실험 영상 수	검출 영상 수				정확도(%)			
		옵션 1 n=3 m=3	옵션 2 n=5 m=5	옵션 3 n=3 m=5	옵션 4 n=5 m=3	옵션1	옵션2	옵션3	옵션4
밝은 배경 - 밝은 결함	15	12	13	12	11	80	86.7	80	73.3
밝은 배경 - 어두운 결함	20	20	19	18	18	100	95	90	90
어두운 배경 - 밝은 결함	22	21	22	21	21	95.4	100	95.4	95.4
어두운 배경 - 어두운 결함	18	17	16	16	15	94.4	88.8	88.8	83.3

어두운 배경잡음 경계)에서 결함이 존재하지 않지만 결함을 검출하는 오류가 발생한다. 그렇지만 옵션 1과 2

의 경우 4가지 종류의 결함을 무난히 배경잡음과 잘 분리함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 반사기법으로 구성된 비전 시스템에서 획득되어진 TFT-LCD 편광필름의 결함을 검출하기 위한 기법을 제안하였다. 비전 시스템에서 사용되는 광원의 불균일성과 배경 잡음의 문제점을 해결하기 위하여 형태론적 기법을 사용하였으며 배경잡음에 비해 밝은 색으로 나타나는 잡음을 검출하기 위하여 LMS 적응 예측기, 어두운 색으로 나타나는 잡음을 검출하기 위하여 통계적 특성을 이용하는 기법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과로부터 제안된 기법들이 4가지 종류의 결함을 효과적으로 검출 할 수 있음을 알 수 있다. 본 논문에서 제안된 알고리즘으로 TFT-LCD 편광필름의 품질검사에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Hewlett-Packard Development Company, "Understanding pixel defects in TFT-LCD flat panel monitors," Hewlett-Packard, 2004.
- [2] Tannas. L. E. Jr, "Evolution of flat-panel display," Proceedings of the IEEE, vol. 82, no. 4, pp. 499-509, Apr. 1994.
- [3] Definition of measurement index for luminance mura in FPD image quality inspection, SEMI standard:SEMI D31-1002.
- [4] J.H Kim, S. Ahn, J.W. Jeon, and J.E. Byun, "A high-speed high-resolution vision system for the inspection of TFT-LCD," Proceedings of ISIE 2001. vol. 1, pp. 101-105, Jun. 2001.
- [5] Lars Heucke, Mirko Knaak, and H. Zhu, "A new image segmentation method based on human brightness perception and foveal adaptation," IEEE Signal Processing Letters, vol.7, no.3, pp.468-473, July 1998.
- [6] Lars Jeucke, Mirko Knaak, and Reinhold Orglmester, "A new image segmentation method on human brightness perception and foveal adaptation," IEEE Signal Processing Letters, vol. 7, no. 6, pp. 129-131, June 2000.
- [7] D .A. Belsley, E. Kuh, and R. E. Welsch, Regression Diagnosticx, John Wiley & Sons, 1980.
- [8] G. B. Lee, C. G. Lee S. Y. Kim, and K. H. Park, "Adaptive surface fitting for inspection of FPD devices using multilevel B-spline approximation," IEEE TENCON'05 pp. 144-148, Nov. 2005.
- [9] S. I. Beak, W. S. Kim, T. M. Koo, I. Choi, and K. H. park, "Inspection of defect on LCD panel using polynomial approximation," IEEE TENCON'04, vol. A21-24, pp. 235-238, Nov. 2004.
- [10] 오종환, 박길흠, "인간 시각시스템의 주파수 감도를 이용한 TFT-LCD 결함강조," 전자공학회 논문지, 44권, SP편, 5호, pp. 20-27, Sep., 2007.
- [11] Rafael C. Conzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall 2001.
- [12] Simon Haykin, Adaptive Filter Theory, Prentice Hall 2002.

저 자 소 개



손 상 옥(학생회원)
 2004년 2월 충북대학교
 전자공학과 공학사.
 2006년 2월 충북대학교
 전자공학과 석사.
 2006년 3월~현재 충북대학교
 전기공학과 박사과정

<주관심분야 : 암묵 신호처리, 적응신호처리, 다중신호처리>



류 근 택(정회원)
 1991년 2월 청주대학교
 전자공학과 공학사.
 2003년 2월 청주대학교
 전자공학과 석사.
 2001년 2월 충북대학교
 전자공학과 박사.

1996년 3월~현재 현재 극동정보대학
 보건의료공학과 교수

<주관심분야 : 적응신호처리, 생체신호처리, 생체 영상신호 처리, 유비쿼터스 헬스케어 시스템, 컴퓨터 의학응용>



배 현 덕(평생회원)-교신저자
 1977년 2월 한양대학교
 전자공학과 공학사.
 1980년 2월 서울대학교
 전자공학과 석사.
 1992년 2월 서울대학교
 전자공학과 박사.

1994년~1995년 미국 시라큐스대학
 전기전자컴퓨터공학부 교수.

1987년 3월~현재 충북대학교 전지전자컴퓨터
 공학부 교수.

<주관심분야 : 적응신호처리, 다중신호처리, 암묵 신호처리, 웨이블릿 변환의 신호처리 응용>