

# B-spline 기반의 FPD 패널 결함 검사

김상지<sup>†</sup>, 황용현<sup>\*\*</sup>, 이병국<sup>\*\*\*</sup>, 이준재<sup>\*\*\*\*</sup>

## 요 약

평판 디스플레이(FPD)의 결함 검출은 패널 영상의 불균일한 휘도 변화로 인해 정확한 결함 검출이 어렵다. 본 논문은 FPD 패널 영상의 휘도변화를 B-스플라인 표면으로 근사화하고, 이로부터 다양한 결함을 검출하는 방법을 제안한다. B-스플라인 표면 근사화시 잡음 및 결함에 해당하는 고주파 부분을 제외하고, 불균일 휘도 변화에 해당하는 배경부분만으로 구성하기 위해, 웨이블릿 변환 후 저주파대역만을 이용한다. 이는 B-스플라인 표면 근사화의 단점인 시간 소모를 획기적으로 줄일 뿐 아니라, 정확성을 향상시키는 결과를 가져온다. 최소의 부대역에서 근사화된 영상은 웨이블릿 합성 과정을 거쳐 원영상의 크기로 재구성되고, 원 영상에서 이를 뺀 차영상이 바로 불균일 휘도의 배경을 보정한 평평한 영상이 된다. 따라서 결과 영상에 단순 문턱치를 이용하여 결함 영역을 쉽게 검출할 수 있으며, 거짓 결함을 제거하기 위해 블랍 해석이 후처리로서 수행된다. 또한 인라인 시스템에 적용하기 위해 웨이블릿 변환을 리프팅 기반의 알고리즘으로 구현하여 필름 같은 대용량의 데이터를 고속으로 처리할 수 있게 함으로써, 처리 시간을 크게 감소 시켰다.

## Defect Inspection of FPD Panel Based on B-spline

Sang Ji Kim<sup>†</sup>, Yong Hyeon Hwang<sup>\*\*</sup>, Byoung Gook Lee<sup>\*\*\*</sup>, Joon Jae Lee<sup>\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

To detect defect of FPD(flat panel displays) is very difficult due to uneven illumination on FPD panel image. This paper presents a method to detect various types of defects using the approximated image of the uneven illumination by B-spline. To construct a approximated surface, corresponding to uneven illumination background intensity, while reducing random noises and small defect signal, only the lowest smooth subband is used by wavelet decomposition, resulting in reducing the computation time of taking B-spline approximation and enhancing detection accuracy. The approximated image in lowest LL subband is expanded as the same size as original one by wavelet reconstruction, and the difference between original image and reconstructed one becomes a flat image of compensating the uneven illumination background. A simple binary thresholding is then used to separate the defective regions from the subtracted image. Finally, blob analysis as post-processing is carried out to get rid of false defects. For applying in-line system, the wavelet transform by lifting based fast algorithm is implemented to deal with a huge size data such as film and the processing time is highly reduced.

**Key words:** B-spline(B-스플라인), Surface Approximation(표면근사화), Defect Detection(결함검출), Mura(무라), Flat Panel Display(평판디스플레이), Wavelet Transform(웨이블릿변환)

\* 교신저자(Corresponding Author) : 이준재, 주소 : 대구 시 남구 대명3동 2139번지(705-701), 전화 : 053)620-2177, FAX : 053)620-2198, E-mail : joonlee@kmu.ac.kr

접수일 : 2007년 5월 2일, 완료일 : 2007년 9월 27일

<sup>†</sup> 준회원, (주)쓰리비 시스템

(E-mail : kjsj@3bssystem.co.kr)

<sup>\*\*</sup> 준회원, 동서대학교 디자인&IT전문대학원

(E-mail : pial051@dit.dongseo.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 정회원, 동서대학교 디자인&IT전문대학원

(E-mail : lbg@dongseo.ac.kr )

<sup>\*\*\*\*</sup> 중신회원, 계명대학교 개암모바일콘텐츠 학과

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10851-0)의 지원으로 수행되었음.

## 1. 서 론

현재까지 가장 널리 사용되고 있는 CRT 디스플레이 장치는 무겁고, 크고, 많은 전력을 소모하는 단점이 있다. 이에 반해 평판 디스플레이(flat panel display)는 가볍고 전역적인 컬러 표현이 가능하며, 전력 소모량이 적은 장점으로 인해 많이 개발되어 점점 그 사용이 증가하고 있다. FPD 시장의 발달과 함께 FPD 제품은 질적 향상을 거듭해 왔고, 현재는 플렉시블(flexible) FPD 까지도 개발 되었다. 이러한 발달과 함께 제조 공정에서의 FPD 패널의 결함 검출은 제품의 질과 직결 되는 매우 중요한 공정으로 인식되어 왔다.

평판 디스플레이에 결함이 생기는 이유는 제조 과정에서 제조 기계의 오작동, 사용하는 필름의 불량, 먼지나 분진에 의한 미세한 결점, 제조자의 실수 등의 이유로 생긴다. 결함은 디스플레이 장치의 상품성을 낮추고, 사용자에게 불편을 주게 되므로, 제조 공정에서 평판의 결함을 검출하는 작업이 매우 중요함을 알 수 있다.

제조 공정에서 현재까지의 결함 검출 방법은 주로 사람의 눈을 이용하는 방법과 전기적인 실험을 통한 방법, 그리고 최근에 적용된 몇몇의 머신 비전 접근 방법에 의해 결함 검출이 이루어 졌다. 사람의 눈을 이용한 결함 검출 방법은 검사자의 눈이 쉽게 피로해 지고, 미세한 결함 등은 잘 검출하지 못한다는 점, 그리고 그때그때의 검사자의 컨디션에 따라 높은 검출 성능 혹은 낮은 검출 성능을 보이기도 하고 무엇보다 검사자의 주관적인 판단이 강하다는 단점이 있다. 더해서 전기적인 실험을 통한 결함 검출 방법은 제품 조립이 완전히 끝난 완제품을 전원을 넣어 검사를 하는 방법으로 결함이 발견 되면 분해 후 재조립하는 과정을 거쳐야 하는 단점이 있고, 머신 비전 접근 방법은 불균일한 휘도 변화에 대해 적용하지 못하는 특징으로 인해 특정 부분에 대한 검사에 한정되어 왔으나 점차 고 신뢰성과 경제성을 갖춘 자동화 장비의 요구에 따라 많은 발전이 이루어 졌다. 하지만 머신비전의 한계에 의해 제조 공정의 결함 검출은 사람의 눈과 머신 비전 접근 방법을 적당히 혼합하여 이루어진다[1-4].

기존의 방법 중 자동화 결함 검출 방법은 TFT-LCD의 구조적 특징인 격자무늬를 특이치 분해를 이

용하여 격자무늬 패턴을 제거하고 남은 부분에서 결함을 찾는 방법[1], 컨벌루션 필터와 미리 정해진 특정 형태를 지니는 표준모델을 이용한 필터를 이용하여 LCD의 결함을 찾는 방법[2], 특정 크기의 마스크를 이용한 불균일한 휘도 변화와 낮은 대비를 갖는 결함의 검출 방법[3], 적응적인 문턱값을 다양하게 적용하여 결함을 찾는 방법[4], 적당한 웨이브릿 분해의 밴드들을 조합하여 패턴을 제거한 후에 재구성된 평면에서 우세한 부분을 결함으로 검출하는 방법[5], 돌출 맵 모델을 기반한 TFT-LCD의 결함 검출 방법[6], 방향성을 가지는 가버 필터를 이용하여 동일한 패턴을 가지는 물체의 결함 검출 방법[7], 퍼지 이론을 적용한 TFT-LCD의 결함 검출 방법[8], 방향성 필터 बैं크와 적응적인 다중 문턱값을 이용한 TFT-LCD의 선결함 검출[9], LOG 필터를 이용한 수직 밴드 무라<sup>1)</sup>와 흩어져 있는 모양의 무라를 검출하는 방법[10] 등이 있다.

그러나 지금까지 언급한 방법은 불균일한 휘도 변화에 적용하지 못하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 여러 방법 중 하나인 이방성 확산(anisotropic diffusion)을 이용하는 방법[11]으로 FPD의 결함을 검출한다. 이 방법은 사용자가 이방성 확산(anisotropic diffusion)을 알고 계수 값들을 영상에 맞게 조절하여야 하고 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 그리고 이번 다항식(bivariate polynomial)과 회귀진단법을 적용하여 무라(Mura)<sup>1)</sup>의 결함을 검출하는 방법[12]이 있다. 그러나 이 방법들은 시간이 많이 걸려서 실제 FPD의 필름같은 대규모 사이즈의 용량을 처리하기 적합하지 않다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기존의 결함 검출 방법들이 가지는 단점들을 보완할 수 있는 결함 검출 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 획득된 영상을 B-spline으로 근사화 하여 입력 영상과의 차연산을 이용하고 간단한 문턱값을 적용함으로써 배경과 결함 영역으로 분류 한 뒤, 블랍 해석을 기반으로 결함이 가진 영역, 둘레, 둘레의 길이 등의 정보를 통해 정량적인 결함 정보의 확인과 거짓 결함 제거

1) '무라'는 일본어의 'むら' 라는 단어에 어원을 가지고 있으며, 우리말로 결함(Defect)을 뜻한다. '무라'는 LCD 산업과 SEMI에서 결함을 뜻하는 표준화된 단어이지만 정확한 '무라'의 기준이 없어 본 논문에서는 '결함' 이라는 단어를 사용하였다.

등의 후처리를 진행한다. 그러나 B-spline으로 근사화 하는 방법[13]의 단점은 영상의 크기에 종속적이므로 계산 시간이 오래 걸리며 결함이 가진 고주파 잡음에 민감하게 대응되어 근사화 된다. 웨이브릿(Wavelet)을 이용하여 결함을 검출하는 방법은 웨이브릿 변환 하고 수평, 수직, 대각의 고주파 잡음과 결함이 가지는 큰 값을 제거하여 다시 역 웨이브릿 변환한 뒤, 기존의 입력 영상과 변환된 영상을 차연 산 함으로 결함을 검출할 수 있다. 그러나 입력영상의 크기(가로,세로)를 이분하여 각각의 HL, LH, HH, LL 부대역을 저장하는데 이때 각 부대역이 포함하는 정보에 대한 직접적인 제거는 가능하지만 그 사이의 값은 제어할 하지 못하고, 또 제거되는 영역의 값이 각 부분별 영역에 직접적인 영향을 주고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 각각의 부대역에 노이즈 제거를 이용하지만 그리 쉽지 않다. 따라서 B-spline으로 근사화 할 때의 문제점인, 고주파를 제거하고, 계산시간을 줄이기 위해 웨이브릿 변환을 함께 이용한다. 평활화된 부 영상은 분해되기 전 입력 영상 대부분의 특징을 그대로 가지면서 크기가 작아지므로 영상의 크기에 종속적인 B-spline으로 근사화 하여 계산하는 시간을 줄여 준다. 다음 이렇게 웨이브릿의 최저 LL 영역에서 B-spline으로 근사화된 영상만으로 역 웨이브릿 변환하고 복원된 결과를 원 입력 영상에서 차 연산을 하고 남은 영상은 불균일한 휘도 변화가 보상된 평평한 배경과 결함이 가지는 특징을 그대로 가지고 있으므로 단순 문턱값 적용으로 결함과 배경을 쉽게 분리 할 수 있다. 또한 블랍 해석에 기초한 후 처리로써 결함이 가지는 영역, 둘레, 둘레의 길이, 2차 모멘트 등의 결함정보를 확인 할 수 있다. 특히 입력으로 들어온 FPD 패널 영상의 휘도 변화가 심한 경계 부분에 대한 처리는 B-spline 근사로써 해결하였다.

본 논문은 2장에서 획득되어진 영상(제조 공정에서 카메라로 얻은 영상)에 대한 특징을 설명하고, 이런 특징들에 의해서 결함검출이 어려움에 대해 기술한 후, 3장에서는 제안하는 알고리즘에 대한 설명과 처리 순서를 단계별로 설명을 하였고, 4장의 실험 및 결과에서는 제조공정에서 획득한 영상을 이용하여 본 논문에서 제안하는 알고리즘과 회귀 진단법을 이용한 영상 분할 기법으로 결함의 검출하는 방법[12]을 비교, 정리 하고, 5장에서 결론을 기술 하였다.

## 2. FPD 패널 영상의 특징

카메라로부터 얻어진 FPD 패널 영상은 일반적으로 국부적인 혹은 전역 적으로 높고 낮은 빛의 휘도 변화와 높은 주파수 잡음을 가지고 있다. 이렇게 획득되어진 FPD 패널 영상 위에 나타나는 결함은 흔히 무라 라고 불리기도 하며, 영상 전반에 걸쳐 무작위로 존재 하고, 특히 영상의 가장자리 부분에서의 높고 불균일한 휘도 변화는 결함 검출 과정에서 결함으로 인정되는 부분을 결함으로 찾아 내지 못하고, 문턱값 적용 시 휘도 변화가 심하지 않은 부분에 까지 나쁜 영향을 미친다. 그러므로 가장자리에 대한 처리는 기존의 알고리즘에서는 결함 검출을 포기하거나 따로 이 부분만 처리를 달리 하는 것으로 많은 시간 소모를 가져온다. 하지만 가장자리 부분만을 따로 처리하는 방법으로도 결함이 검출되지 않는 한계가 있다.

FPD 패널 영상위에 나타나는 결함은 본 논문에서는 크게 작은 결함(small defect), 큰 결함(large defect), 선 결함(line defect), 무정형 결함(formless defect)으로 분류하고 다음과 같이 정의하였다. 작은 결함은 얼룩, 실오라기, 점, 스크래치, 분자와 같은 작은 크기의 결함이고, 지름이 정해진 화소 크기 이하를 말한다. 큰 결함은 결함이 갖는 영역이 큰 결함을 말하고, 이는 어떤 지역, 굴곡, 급작스런 높은 휘도 변화, 비정규적인 휘도변화에 의해 생기는 것으로 정해진 화소 크기 이상인 결함을 말한다. 선 결함은 끈은 혹은 약간 굽은 수평, 수직의 선, 벨트, 띠 모양 등의 결함을 말한다. 무정형 결함은 정해진 모양이 없는 부정확한 형태의 결함을 말하며, 빛 샘, 돌기, 찍힘, 주입구방사 등 다양한 이유로 인해서 생긴 결함을 말한다.

제조 공정에서 사용되는 카메라로 획득된 FPD 패널 영상은 카메라의 종류 혹은 FPD 패널 종류에 따라 사용되는 필름의 크기에 관계되어 여러 가지 크기로 획득되어 지는데 실험에 사용된 영상은 약 2000×6000, 3000×7000, 6000×7000 등 다양한 픽셀 크기이며 각각 256 그레이 단계를 갖는다. 획득된 영상에서 결함이 나타나는 부분을 각 결함이 중간쯤 위치하도록 256×256픽셀 크기로 떼어 낸 영상들을 아래 그림 1에서 결함의 종류별 예를 볼 수 있다.

제조 공정에 사용되는 FPD 패널 영상을 고성능 카메라로 획득하여 얻어낸 영상들에 나타나는 결함은 위의 그림 1의 예와 같이 모양과 특징 등으로 분류하기에 따라 여러 종류로 분류가 가능하다. 또한 그림 1의 (b)에서 예를 든 영상은 주변과 결함의 휘도차이가 낮음으로 인해 구분이 어려우므로 대비를 높여 구분할 수 있게 하였다. 위에서 보여지듯이 결함이 주위의 결함 없는 부분과 순간적인 높은 휘도차이가 심한 경우 눈으로도 쉽게 찾을 수 있지만, 결함이 없는 주위와의 휘도차이 혹은 특징이 잘 나타나지 않으면 눈에 잘 안 띄고, 이 경우 기존의 사람의 눈을 이용한 결함 검출방법, 전기적 실험 장치나 머신 비전 접근 방법의 자동화 시스템에서는 결함이 잘 검출되지 않는다. 최근에 많은 자동화 결함 검출 방법들이 개발되어 실용화 되어 있긴 하지만 아직도 그 결함을 검출하는 능력이 업계에서 요구하는 성능 수준에 이르지 못하고 있다.

자동화 장비의 카메라에 의해 획득되어 순수하게 결함 검출 처리 전의 영상이 가지는 특징은 획득된 영상에 단순 문턱값을 적용해 보면 영상이 가지는 불균일한 휘도 변화를 알 수 있다. 이는 단순 문턱값 적용으로는 결함 검출이 어려움을 알 수 있게 한다.

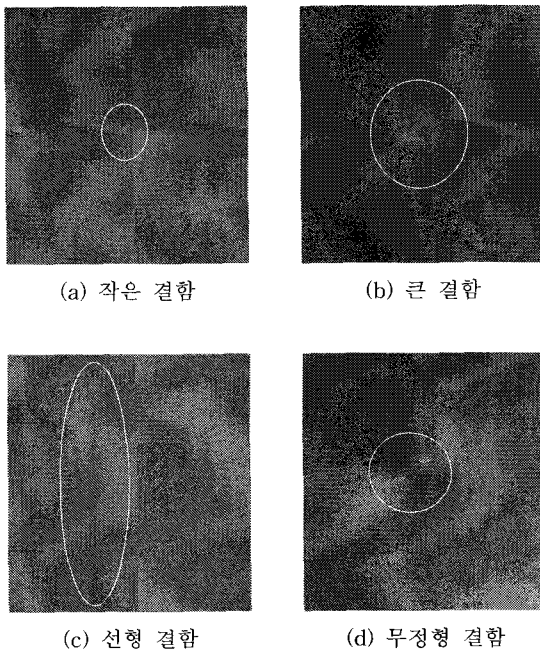
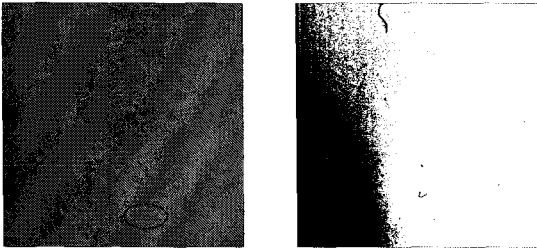


그림 1. FPD 패널 영상위의 결함 종류

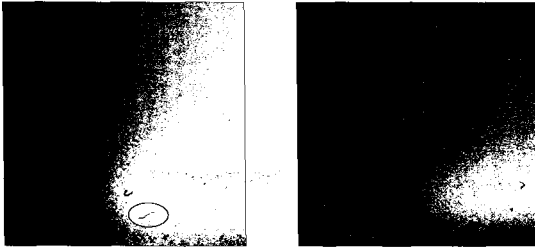
그 예로 제조 공정에서 획득된 FPD 패널 영상의 불균일한 휘도와 그 불균일한 휘도 안에 결함이 포함되어 있는 영상을 그림 2의 문턱값에 따른 영상의 휘도 변화와 3차원 프로파일을 통해서 볼 수 있다. 그림 2의 (a)는 제조공정에서 약 2000×6000 화소크기로 획득된 BLU(back light unit) 영상의 한 부분을 512×512 크기로 잘라낸 부분이고, 제조 공정에서의 결함 검출은 점선 원으로 표시한 부분 내의 스크래치 결함을 찾아야 한다. 하지만 그림 2의 (b)와 (c)를 보면 적용 문턱값에 따라 왼쪽 아래부터 휘도 변화가 시작하여 점점 오른쪽으로 갈수록 휘도변화가 심해짐을 알 수 있고, 그림 2의 (d)에서 적용되는 단순 문턱값이 130 이 되어야 찾고자 하는 부분의 스크래치 결함을 찾을 수 있음을 알 수 있다. 이러한 문턱값의 조절로 찾고자 하는 부분의 스크래치 결함은 찾았지만, 심한 휘도변화로 인해 (b)에서 찾아 졌던 검은 스크래치 및 점 결함 들이 높은 휘도 변화로 인해 찾을 수 없음을 알 수 있다. 그리고 (e)에서 영상의 3차원 프로파일을 보면 쉽게 영상의 불균일한 휘도 변화와 고주파 잡음을 볼 수 있고, (f)에서는 (a)의 점선 부분의 입력 영상의 원 신호와 저주파와 고주파로 분리된 신호 그래프를 볼 수 있다.

이렇듯 불균일한 휘도 변화 내에 존재 하는 결함 들은 휘도 변화를 평평하게 보상하여 문턱값을 적용 하는 방법 외에는 찾을 수 없음을 그림 2의 (b), (c), (d)를 통해 알 수 있다. 아래 그림 2 에서 보는 것과 같이 영상의 불균일한 휘도 변화는 자동화 장비 및 사람의 눈을 이용한 모든 결함 검출 방법에 있어서 가장 문제가 되는 부분이다. 이러한 휘도변화를 보상 하여 결함을 검출하는 방법은 일정 크기의 마스크를 이용한 방법과 영상을 작은 크기의 부분영상으로 만들어 문턱값을 적용하는 방법이 있다. 그러나 이 방법들은 불균일한 휘도 변화가 심하지 않을 경우 나누어지는 부분 영상들을 크기 혹은 마스크의 크기를 조절하여 결함을 검출 하는데 효과적이지만 휘도변화가 심할 경우 나누어지거나 마스크의 크기에 따른 부분 영상 안에서도 그림 2와 같이 결함 검출은 힘들다. 더구나 결함이 나누어지거나 마스크의 크기보다 클 경우 결함 검출은 전혀 이루어 지지 않고, 나누어진 이음 부분 또한 문제가 될 수 있으므로 효과적인 결함 검출이 이루어 지지 않는다.

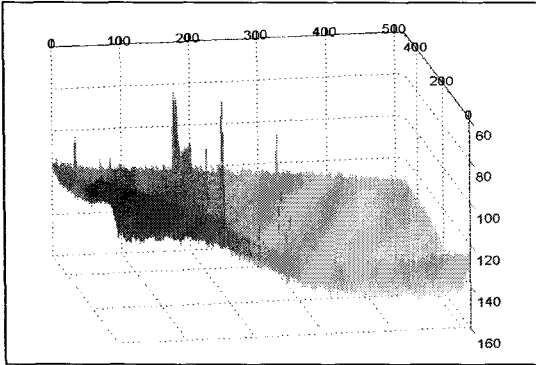
그림 2의 여러 가지 기존 결함 검출 방법이 가지는 단점을 보완하여, 우리는 본 논문에서 근본적으로 전



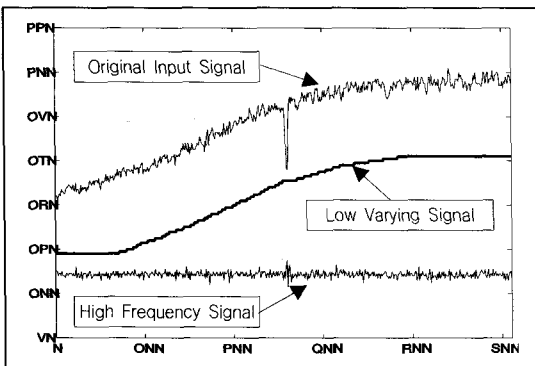
(a) 입력 영상 (a) Input image (b) 문턱값 110 영상 (b) Threshold image at 110



(c) 문턱값 120 영상 (c) Threshold image at 120 (d) 문턱값 130 영상 (d) Threshold image at 130



(e) 입력 영상의 3D 프로파일 (e) 3D profile of the input image



(f) (a)의 흰 점선의 입력 신호, 분리된 고주파와 저주파의 프로파일 (f) Input signal of the white dotted line in (a), and profiles of separated high and low frequencies

그림 2. 문턱값에 따른 영상의 휘도변화와 3D 프로파일 (Figure 2. Brightness change and 3D profile of the image according to the threshold)

역적 혹은 지역적으로 나타나는 휘도 변화를 평평하게 보상하고, 휘도의 변화에 따른 적응적인 문턱값을 적용할 수 있게 고주파 잡음을 제거하고 낮은 저주파 성분을 제거하여 표준 편차와 각 픽셀의 절대값을 이용한 문턱값을 적용할 수 있는 B-spline 근사에 기반한 알고리즘을 제안하였다. 또한 블랍 해석에 기반한 후 처리 알고리즘을 제안함으로써 결함의 정보를 확인할 수 있게 하였다.

### 3. B-spline 근사를 이용한 결함 검출 방법

#### 3.1 B-spline 함수를 이용한 3차 곡면 근사

B-spline 함수를 이용한 3차 곡면 근사는 주어진  $m_x \times m_y$  이미지 데이터  $Z = \{z_{i,j} | i = 0, \dots, m_x - 1, j = 0, \dots, m_y - 1\}$ 에 대해서  $(n_x + 3) \times (n_y + 3)$  크기의 B-spline 제어점들을 이용하여 3D 곡면 근사를 최소자승법으로 구할 수 있다. 이것은  $x$ 축,  $y$ 축 knot size가  $h_x = (m_x - 1)/n_x$ ,  $h_y = (m_y - 1)/n_y$ 인 식 1과 식 2의 knot vector의 3차 B-spline 함수인 식 3을 이용하여 근사 곡면을 구한다. 근사 곡면을 구할 때 사용되는 제어 격자는 그림 3과 같고 이 제어 격자를 통하여 입력 영상의 근사 표면을 구한다.

$$\tau_x = \left\{ -3h_x, -2h_x, -h_x, 0, \dots, (n_x + 1)h_x, (n_x + 2)h_x, (n_x + 3)h_x \right\} \quad (1)$$

$$\tau_y = \left\{ -3h_y, -2h_y, -h_y, 0, \dots, (n_y + 1)h_y, (n_y + 2)h_y, (n_y + 3)h_y \right\} \quad (2)$$

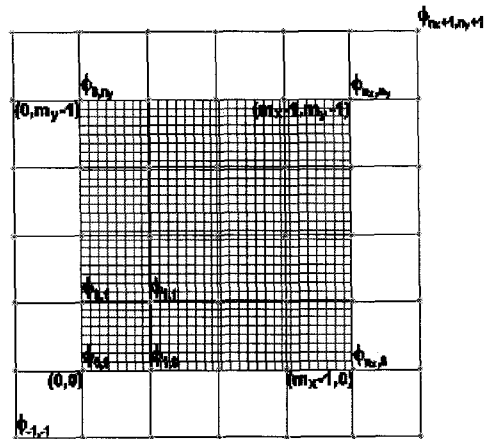


그림 3. 제어 격자의 구성 (Figure 3. Control grid structure)

$$f(x,y) = \sum_{i=-1}^{n_x+1} \sum_{j=-1}^{n_y+1} \phi_{i,j} B_i(x) B_j(y) \quad (3)$$

여기에서 3차 B-spline 기저  $B_i(x)$ 의 knot vector는

$$\{(i-2)h_x, (i-1)h_x, ih_x, (i+1)h_x, (i+2)h_x\}$$

이고,  $B_j(y)$ 의 knot vector는

$$\{(j-2)h_y, (j-1)h_y, jh_y, (j+1)h_y, (j+2)h_y\}$$
 이다.

그리고  $B_i(x)B_j(y)$ 에 대한 제어점  $\phi_{i,j}$ 는 식 4와 같이 최소자승법을 이용하여 구한다.

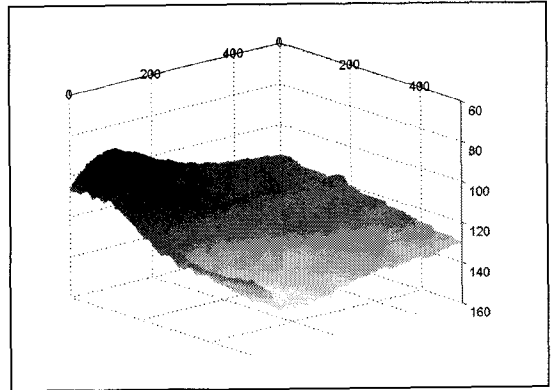
$$\min \sum_{i=0}^{m_x-1} \sum_{j=0}^{m_y-1} \{z_{i,j} - f(i,j)\}^2 \quad (4)$$

그림 4의 (a)는 주어진 입력 영상인 그림 1의 (a)에 대한 제어점 27×27의 B-spline 근사 결과를 3D 프로파일로 나타내었다. 근사된 결과를 보면 저주파의 불균일한 휘도변화를 볼 수 있으며, 입력 영상에서 이 결과를 빼주면 불균일한 휘도 변화를 제거 할 수 있다. 또한 울퉁불퉁한 근사 표면 부분을 보면 고주파 잡음과 결합이 가지는 큰 값을 따라 근사를 수행하게 되는 것을 볼 수 있다. 그래서 고주파 잡음과 결합이 가지는 큰값의 특징을 제거한 뒤 근사를 수행하게 되면 울퉁불퉁하게 근사되던 근사표면은 매끄럽게 근사 된다. 그림 4의 (b)는 그림 2의 (a)의 흰 점선에 대한 같은 위치의 2D 프로파일이며, 그림 2의 (f)의 저주파 신호와 그림 4의 (b)의 근사된 신호 부분을 비교해 보면 근사된 신호가 결합의 높은 값을 따라 근사되는 것을 볼 수 있다. 또한 B-spline 근사는 계산 시간이 제조공정의 자동화 장비에서 요구하는 시간에 비해 많이 걸린다.

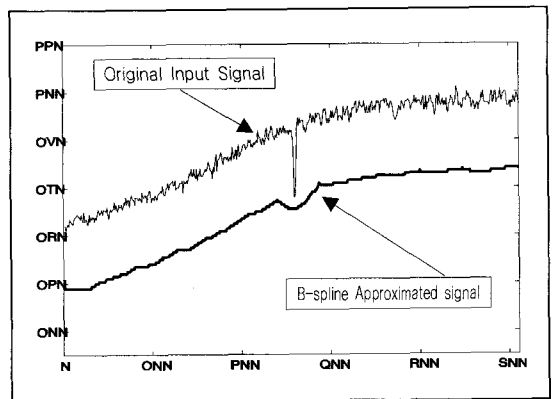
### 3.2 B-spline과 웨이브릿을 이용한 고속의 표면 근사 기법

자동화 장비에서 사용되는 카메라에 의해 획득된 FPD 패널 영상의 결합 검출에서 가장 문제가 되는 것은 경계부분에서의 심하고 불균일한 휘도 변화 내에 들어 있는 결합이 검출 되지 않고, 또한 이 불균일한 휘도가 전체 결합 검출 처리에 나쁜 영향이다.

FPD 패널 영상의 경계 부분에서의 심하고 불균일한 휘도 변화가 생기는 이유는 영상 획득 시에 카메라의 렌즈, 카메라의 위치, 조명의 위치, 장비의 오



(a) 입력 영상에 대한 제어점 27×27의 B-spline 근사 결과



(b) 그림 2의 (a)의 흰 점선에 대한 같은 위치의 근사결과와 프로파일

그림 4. 입력 영상의 B-spline 근사 결과

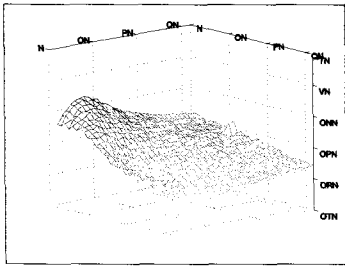
정렬, 카메라의 떨림, 필름의 기울기, 카메라로부터 얻어진 데이터의 처리프로세서로 전송되는 과정에서의 잡음 추가 등 여러 가지 이유로 인해 생긴다. 이렇게 획득된 영상은 위의 그림 1과 그림 2에서 본 것과 같이 여러 종류의 결합과 휘도 변화가 심하게 나타나서 단순 문턱값 적용으로는 휘도변화 안에 있는 결합을 찾기가 어렵다.

제안하는 방법인 고속 B-spline 근사[16]와 웨이브릿[17]에 기반한 알고리즘은 불균일한 휘도 변화를 근본적으로 보상하기 위한 방법으로 입력 영상을 B-spline 근사하여 입력 영상에서 근사된 결과를 뺀 결과에 단순 문턱값을 적용하는 것이다. 위의 그림 4에서 볼 수 있듯이 3차 B-spline 함수를 이용한 곡

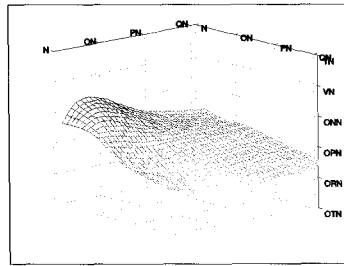
면 근사는 스무드 하게 변하는 저주파의 휘도 변화를 보상하기 위함인데, 크기가 큰 입력 영상 그대로 B-spline 근사를 수행할 경우 시간이 많이 걸리고 잡음과 결함이 가지는 큰 값을 따라서 근사를 수행하

게 된다. 그래서 큰 값을 가지는 결함이나 고주파 잡음에 대한 필터링이 필요한데 우리는 이 필터링 방법을 웨이브릿 변환을 이용 하였다.

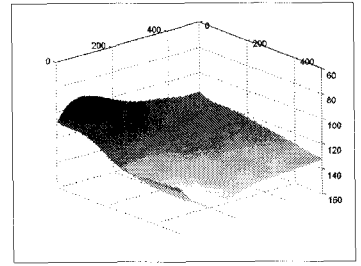
본 논문에서 사용한 웨이브릿 변환은 주파수 공간



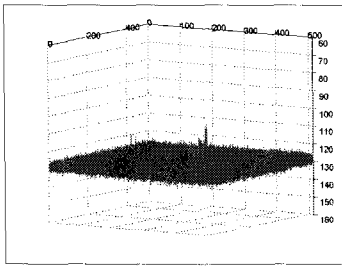
(a) 4단계의 웨이브릿 변환 결과의 평활화 된 부 영상의 3D 프로파일



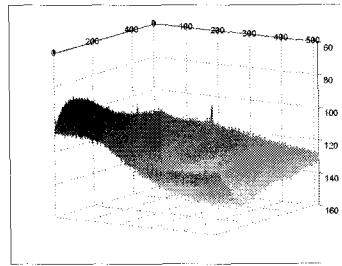
(b) (a)에 대한 B-spline 근사 결과의 3D 프로파일



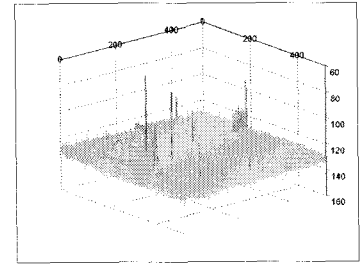
(c) (b)만을 이용한 역 웨이브릿 변환 결과의 3D 프로파일



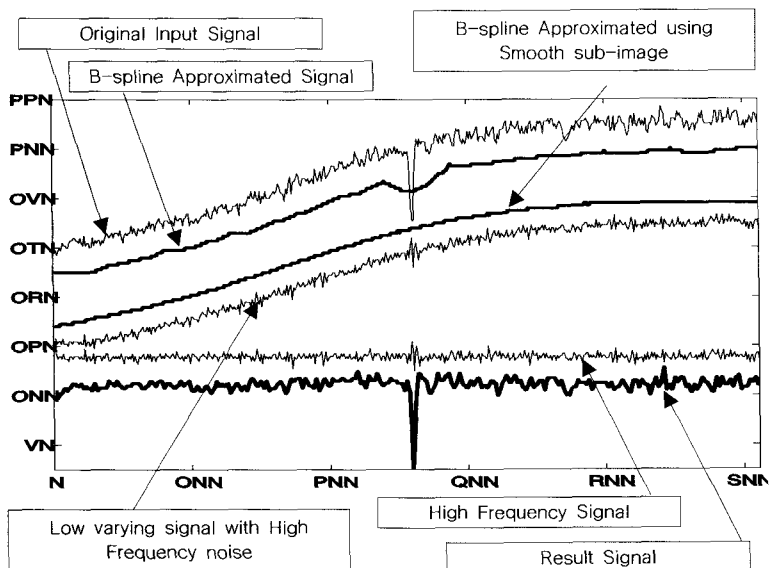
(d) 역 웨이브릿 변환시 제거된 고주파 잡음



(e) (c)와 (d)신호가 결합된 결과의 3D 프로파일



(f) 입력영상에서 (e)를 뺀 결과의 3D 프로파일



(g) 그림 2의 (a)의 흰점선과 같은 위치의 각 단계별 처리 결과에 따른 프로파일

그림 5. 제안된 알고리즘의 처리 절차에 따른 결과

에서 효과적인 분해능을 가지고, 일정한 대역을 형성 (banded wavelets)하며, 고속의 구현이 가능한 리프팅 연산을 이용 하였다. 이는 주어진  $M \times N$  크기의 입력영상  $f(x, y)$  는 '1' 단계의 웨이브릿 분해로 인해 각각 한 개의 평활화된 부 영상  $f^{1u}(x', y')$ , 세부적인 특징 중 수평 방향의 특징을 가지는  $f^{1m}(x', y')$ , 수직 방향 특징을 가지는  $f^{1v}(x', y')$ , 대각 방향 특징을 가지는  $f^{1d}(x', y')$  4개의 부 영상으로 분해됨을 나타내고, 여기서  $f_{LL}^j(x, y)$  는 분해 레벨  $j$ 에서의 평활화된 부 영상을 나타내고,  $f_{LL}^0(x, y)$ 는 원 입력 영상  $f(x, y)$  이다. 또  $f_{LL}^j(x, y)$  는  $j+1$ 레벨 분해에서  $f_{LL}^{j+1}(x', y')$ ,  $f_{HL}^{j+1}(x', y')$ ,  $f_{LH}^{j+1}(x', y')$ ,  $f_{HH}^{j+1}(x', y')$  인 네 개의 부 영상으로 분해되고 각각의 크기는  $\frac{M}{2^{j+1}} \times \frac{N}{2^{j+1}}$  이 된다.

그리고 분해된 영상의 재구성을 위한 역 변환은 분할된 신호를 결합하는 역 2D 피라미드 알고리즘에 의해 완성 된다.

웨이브릿 변환 단계의 평활화 된 부 영상은 입력 영상에서 큰 값의 결합과 고주파 잡음이 제거된 입력 영상의 특징을 그대로 가지면서 크기는 웨이브릿 변환 단계만큼 작아졌다. 작아진 크기만큼 B-spline 근사는 빠른 시간 안에 수행 된다. 더구나 제거된 고주파 잡음과 결합이 가지는 큰 값의 영향을 받지 않으므로 저주파의 불균일 휘도 변화에 따라 부드럽게 근사 된다. 부드럽게 근사된 결과를 평활화 된 부 영상과 대치하고, 입력영상이 가지는 고주파 잡음을 제거하기 위한 고주파 밴드를 제거하고 역 웨이브릿 변환한 결과를 입력영상에서 빼면 고주파 잡음과 저주파의 불균일 휘도 변화가 제거된 평평한 배경에 결합이 가지는 큰 값만 남은 결과를 얻을 수 있다.

그림 5의 (a)에서 작아진 평활화 된 부 영상의 3D 프로파일을 볼 수 있고, 그림 5의 (b)에서 평활화 된 부 영상을 제어점  $5 \times 5$ 의 B-spline 근사한 결과를 볼 수 있다. 평활화 된 부 영상을 B-spline 근사된 결과와 고주파 밴드를 이용하여 역 웨이브릿 변환한 결과는 저주파의 불균일 휘도 변화에 고주파 잡음이 함께 섞여 있다. 그림 5의 (c)에서 근사된 결과만을 이용하여 역 웨이브릿 변환된 결과를 볼 수 있고, 그림 4의 (a)처럼 고주파 잡음과 결합의 큰 값에 반응하여 울퉁불퉁하게 표면 근사된 결과에 비하여, 고주파와 결합이 가지는 큰 값의 특징이 제거된

평활화된 부 영상만을 이용한 B-spline 근사 표면이 훨씬 부드럽게 변하는 저주파의 휘도 변화를 잘 나타낼 수 있다. 또한 분해되어 제거된 고주파 잡음만으로 재구성 된 결과를 그림 5의 (d)에서 볼 수 있다. 그리고 그림 5의 (e)에서 고주파 잡음과 저주파의 불균일한 휘도 변화를 함께 재구성한 결과를 볼 수 있고, (f)에서 제안된 방법으로 처리 된 결과 영상의 3D 프로파일을 볼 수 있으며, 그림 5의 (g)에서 그림 2의 (a)의 흰 점선과 같은 위치에 대한 입력 신호와 입력 영상 그대로 B-spline 근사한 결과 신호, 웨이브릿 변환 되어 평활화된 부 영상만을 B-spline 근사하여 역 웨이브릿 변환하여 구해진 불균일한 휘도 변화의 신호, 고주파 신호와 평활화된 부 영상의 근사된 결과와 합쳐진 신호, 최종 결과 신호의 프로파일을 볼 수 있다.

제안된 알고리즘으로 처리된 결과인 그림 5의 (f)는 저주파의 불균일한 휘도가 보상되고 고주파 잡음이 제거되어 평평한 배경과 그 위에 결합이 가지는 큰 값이 튀어 나온 3D 프로파일을 볼 수 있다. 여기에 표준편차를 이용한 문턱값을 적용하면 우리는 쉽게 결합을 찾을 수 있다. 또한 결합의 정보를 확인하기 위한 블랍 해석에 기초한 후 처리 과정을 거치면 최종 결과를 얻어 낼 수 있다.

제안된 방법으로 구성된 시스템의 개략적인 다이어그램은 그림 6의 전체 시스템의 처리 순서도를 통해 볼 수 있다.

### 3.3 문턱값 결정

문턱값은 검사 영역 전체의 평균과 표준 편차를 구하여 표준편차 외의 부분을 결합으로 찾아 내어 표준편차를 벗어나는 부분을 검은색으로 나타냄으로써 결합을 표시하고, 기저 평면은 흰색으로서 표시되게 하였다. 문턱값은 식 5로써 적용 수행되고, 그림 7에 문턱값을 적용한 결과 영상을 볼 수 있다.

$$L(x, y) = \begin{cases} 255, & u - \sigma < I(x, y) < \sigma + u \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

### 3.4 블랍 해석기반의 거짓 결합 제거

결합이라고 판단되는 픽셀들의 집합을 영역(area)이라 하고, 실제크기는 영상 획득 시에 사용되는 카메라의 CCD의 단위를 곱해줘야 한다. 그리고 결합



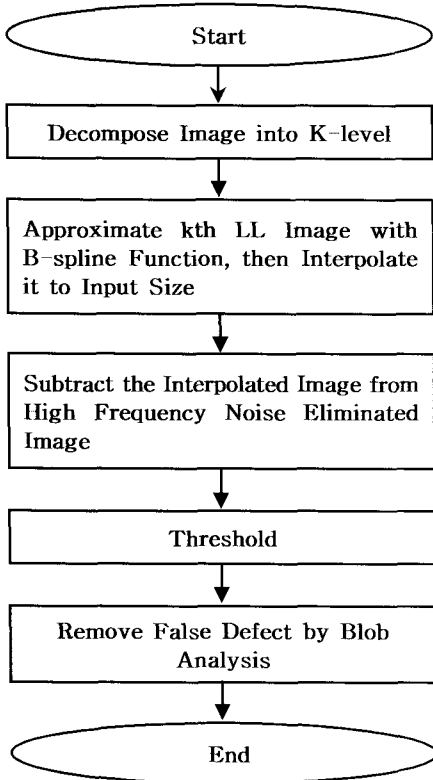


그림 6. 결함 검출 순서도

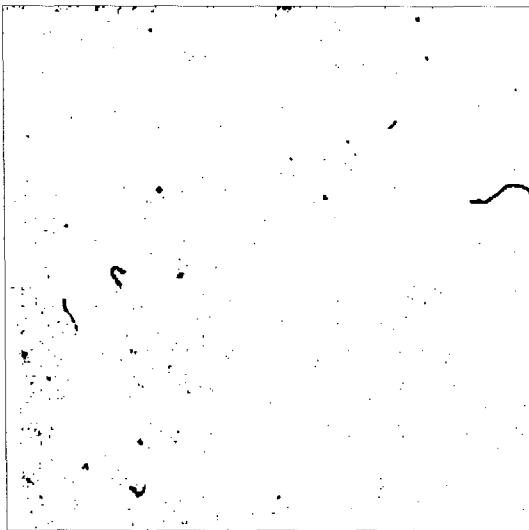


그림 7. 문턱값 처리 영상

의 중심(centroid)은 영역 안에 있는 픽셀들의 수평과 수직의 평균을 구한 좌표이고, 어떤 영역에서 그 영역 안에 어떤 구멍이나 틈이 없을 때 영역 내부와

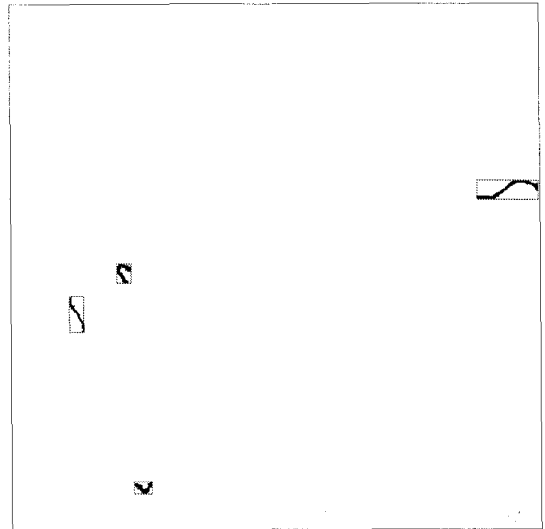


그림 8. 블랍 처리된 결과 영상

외부의 경계를 나타내는 픽셀을 경계픽셀이라 하고, 그중 외부와 경계하는 경계 픽셀의 내부 픽셀들의 집합을 둘레(perimeter)라고 한다. 그리고 이 둘레의 픽셀들의 길이, 즉 개수를 둘레의 길이(perimeter length)라고 한다. 원형성 혹은 신장성(circularity or elongation)은 영역의 모양이 얼마나 원형에 가까운가를 측정하는 것이다. 이상의 영역 영상 안에서 검출되어진 결함 영역 해석 값에 의해 영역이 면적이 기준 크기 보다 작은 것을 제거하면 그림 8에서처럼 결과 영상을 얻을 수 있다. 여기에 외접 사각형과 면적, 주변 길이 같은 것을 사용하여 이 영역의 결함 분류 역시 가능하다.

#### 4. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하고 구현된 시스템은 하드웨어 환경 CPU 3.0 GHz, 1GB RAM에서 실험 되었고, 소프트웨어 환경은 비주얼 C++에서 실험 하였다. 실험에 사용된 영상은 모두 제조 공정에서 사용되는 FPD 패널의 필름 영상을 자동화 결함 검출 장비의 카메라에 의해 획득되어진 영상이다. 그리고 각각의 처리 과정에서 고속의 결함 검출을 위해 웨이브릿 필터는 도비치의 5-3 탭을 이용하여 구현 되었고, 3차 B-spline 근사에 사용된 제어점의 개수는 5×5가 쓰였다. 그리고 본 논문과의 비교를 위하여 이번 다항식과 회귀 진단법을 이용한 영상 분할 기법으로 결함

을 검출하는 방법[12]을 사용하였다.

실험에서 우선 그림 9, 10, 11의 각각의 (a) 입력영상을 시작으로, 일반적인 문턱값으로 찾은 결합 검출을 그림 9, 10, 11의 각각의 (b)에서 볼 수 있고, 결과는 휘도 변화가 심하여 제대로 된 결합 검출이 어렵다는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 9, 10, 11의 각각의 (c)에서 제안된 방법을 통한 결과를 볼 수 있으며, 휘도변화가 보상되어 간단한 문턱값 적용으로 우수한 결합 검출 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한

그림 9, 10, 11의 각각의 (d)에서 블랍 해석에 기초한 블랍 처리 결과를 결합의 경계박스로 나타내었다. 아래의 모든 영상 크기는 512×512 픽셀 크기 이고, 처리 시간은 0.36 초 걸렸다.

또한 그림 12에서 기존의 이변 다항식과 회귀 진단법을 적용한 결합 검출 방법[12]의 결과와 B-spline을 이용한 결과를 비교하여 나타내었다. 그림 12의 (a)와 (b)는 그림 9의 (a)에 대한 B-spline을 이용한 방법과 이변 다항식과 회귀 진단법을 적용한

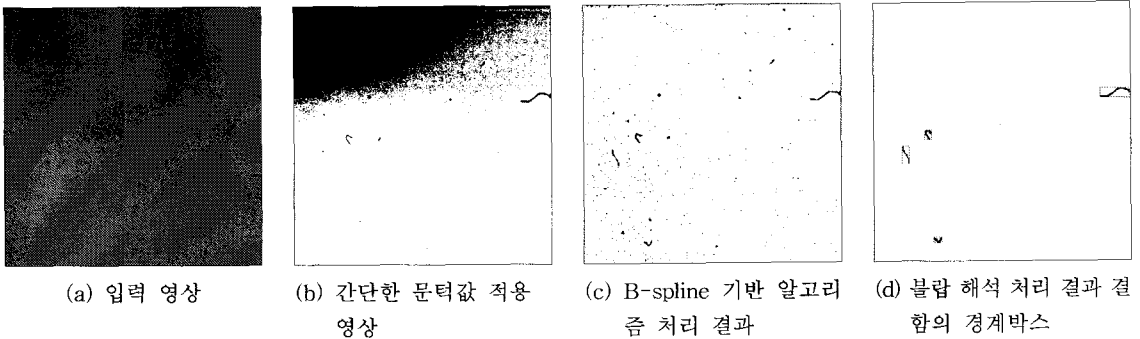


그림 9. 스크래치 결합 영상에 대한 실험 결과

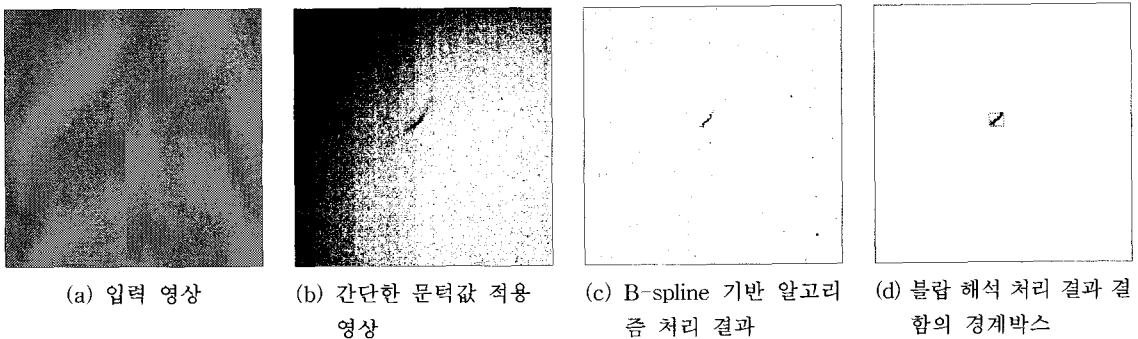


그림 10. 스크래치 결합 영상에 대한 실험 결과

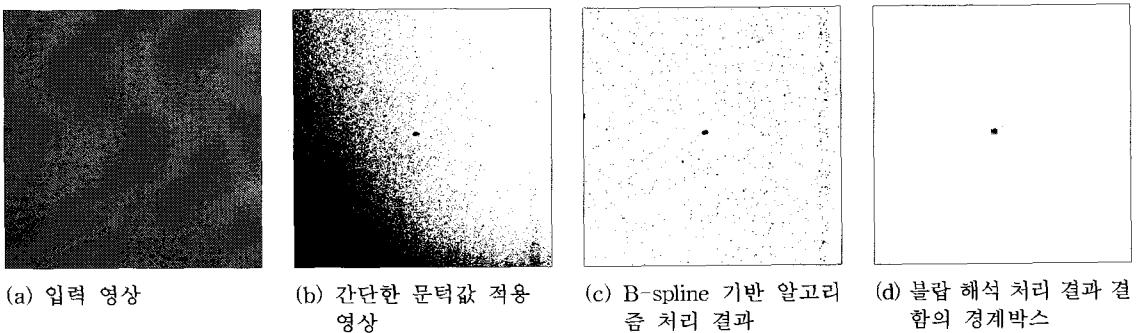


그림 11. 검은 점 결합 영상에 대한 실험 결과

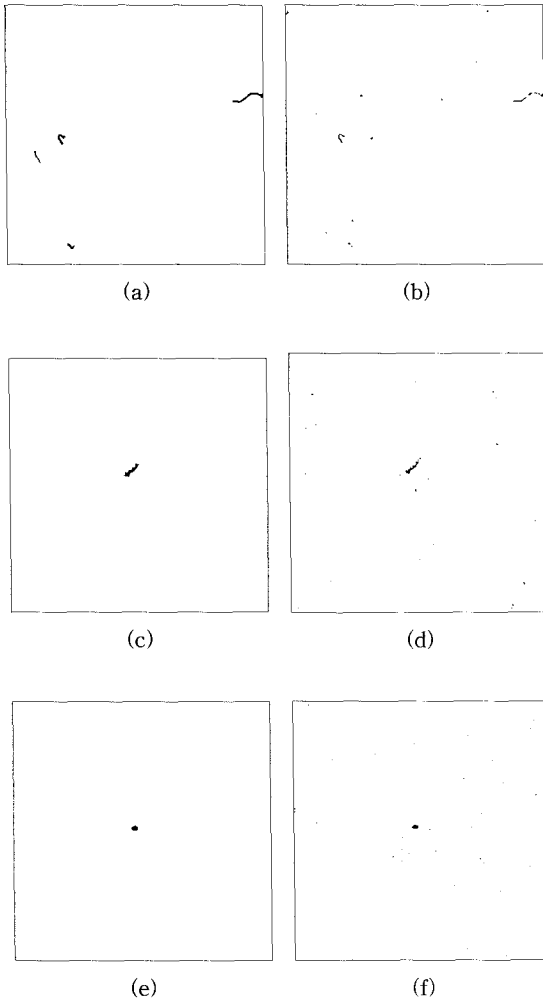
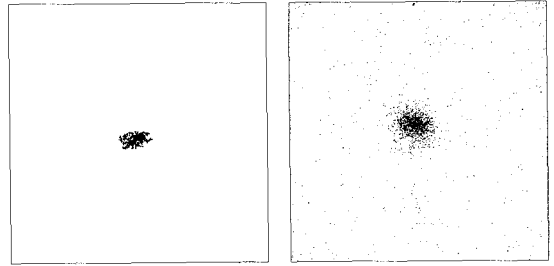


그림 12. B-spline과 이변 다항식과 회귀 진단법을 이용한 결함 검출 결과의 비교

(a), (b) 는 그림 9의 (a)에 대한 B-spline, 이변다항식과 회귀 진단법 결과의 비교, (c), (d) 는 그림 10의 (a)에 대한 B-spline, 이변다항식과 회귀 진단법 결과의 비교, (e), (f) 는 그림 11의 (a)에 대한 B-spline, 이변다항식과 회귀 진단법 결과의 비교

방법의 결과 영상을 비교하여 나타내었고, (c)와 (d)는 그림 10의 (a), (e)와 (f)는 그림 11의 (a)에 대해 각각의 결과 영상을 비교한 것으로써, 결함 검출 결과가 유사 하다는 것을 알 수 있다.

위의 그림 9, 10, 11, 12는 상, 하, 좌, 우 휘도 변화가 심한 부분에 대한 점, 스크래치등의 작은 결함에 대하여 나타내었고, 그림 13에서는 그림 1의 (b)에서 나타낸 큰 결함의 예로써 얼룩 결함에 대한 검출 결과를 나타내었다.



(a) B-spline을 이용한 얼룩 결함 검출 결과 (b) 이변다항식과 회귀 진단법을 이용한 결함 검출 결과

그림 13. 얼룩 결함에 대한 B-spline과 이변다항식과 회귀 진단법을 이용한 결함 검출의 비교

위의 그림 12, 그림 13에서 나타내었듯이 검출 결과는 비슷하다. 그러나 표 1에서 입력 영상의 512×512 크기에서 각각의 두 알고리즘을 적용시켜 처리되는 시간을 간단하게 측정하여 보았다. 이변 다항식과 회귀 진단법을 이용한 영상 분할 기법으로 결함의 검출하는 방법[12]에서는 512×512를 50×50으로 지역적 분할하여 검출한 결과 3.84의 시간이 소요 되었고 본 논문의 검출 성능은 0.109초라는 검출 시간 측정 되었고 이를 비교를 해보아도 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 시간적인 측면에서 뛰어나다는 것을 알 수가 있다.

표 2는 본 논문에서 제안하여 구현된 시스템의 처리 과정에 따른 계산 시간을 정리 하였다. 표 2에 나타난 바와 같이 우리는 영상 각각의 크기에 따른 제안된 알고리즘에 의해 처리되는 전처리와, 결함과 기저 평면을 구분하는 문턱값 적용 처리, 결함의 정보를 알려주는 블랍 해석에 기반한 후처리 등의 소모되는 시간을 각각 알 수 있다.

그리고 처리 시간 결과에서 전체 영상을 한번에 다 처리 하지 않고 512×512 혹은 1024×1024의 크기의 부분 부분으로 잘라서 처리 하면 영상이 큰 경우 처리시간은 빨라지나 영상이 작은 경우 오히려 처리 시간이 늘어난다.

표 1. 512×512 크기에서 알고리즘별 처리 시간 비교 (단위/초, 3GHz/CPU, 1GB/RAM)

Size(MB)	Bivariate polynomial & Regression diagnostics	B-Spline & Wavelet
512×512	3.84	0.109

표 2. 입력 영상 크기에 따른 단계별 처리 시간 비교 (단위/초, 3GHz/CPU, 1GB/RAM)

Procedures \ Size(MB)	1	16.8	19.5	22
Wavelet Decomposition	0.032	0.312	0.359	0.421
B-spline Approximation	0.062	0.547	0.625	0.731
Wavelet synthesis	0.063	1.172	1.266	1.329
Subtract	0.001	0.093	0.094	0.11
Thresholding	0.016	0.281	0.313	0.344
Blob Analysis	0.078	1.683	1.823	2.021
Total	0.252	4.088	4.48	4.956

### 5. 결 론

본 논문에서 제안한 알고리즘은 불균일한 휘도 변화를 보이는 FPD 실험 영상들에 대해 효과적으로 불균일한 휘도를 제거함으로써 안정적이며 빠르고, 정확한 결함 검출이 이루어짐을 확인 할 수 있었다. 또한 블랍 해석에 의한 후 처리 과정에 의해 과검출에 대한 선별이 가능하고 결함의 정보를 한 눈에 알아 볼 수 있었다. 구현된 시스템의 결함검출 처리 시간은 현재 제조 공정에서 사용되는 자동화 결함 검출 장비의 처리 시간보다 최소 2초 이상 빠르고 결함 검출 성능 또한 기존의 방법이나 자동화 장비의 결함 검출 성능에 비해 우수한 결과를 보인다. 또한 모든 종류의 FPD의 결함 검출에도 사용될 수 있으므로 그 사용도 또한 넓다. 앞으로의 연구는 현장에서는 더 빠른 처리 시간과 좀 더 정확한 결함 검출을 원하기 때문에 처리 시간 단축과 이를 기반으로 더 정확한 결함 검출 알고리즘을 개발해야 한다.

### 참 고 문 헌

[1] C. J. Lu and D. M. Tsai, "Defect inspection of patterned thin film transistor-liquid crystal display panels using a fast-image-based singular value decomposition," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.42, No.20, pp. 4331-4351, October 2004.

[2] W. K. Pratt, S. S. Sawkar, and Kevin O'Reilly,

"Automatic blemish detection in liquid crystal flat panel displays," *SPIE Mach. Vision App. in Industrial Inspection*, Vol.3306, pp. 2-13, January 1998.

[3] K. Taniguchi and S. Tatsumi, "A detection method for irregular lightness variation of low contrast," *IEEE Systems, Man and Cybernetics*, Vol.7, pp. 6401-6406, 2004.

[4] F. H. Y. Chan, F. K. Lam, and H. Zhu, "Adaptive thresholding by variational method," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.2, No.3, pp. 168-174, March 1998.

[5] D. M. Tsai and C. H. Chiang, "Automatic band selection for wavelet reconstruction in the application of defect detection," *Image and Vision Computing*, Vol.21, No.5, pp. 413-431, May 2003.

[6] K. B. Lee, M. S. Ko, J. J. Lee, T. M. Koo, and K. H. Park, "Defect detection method for TFT-LCD panel based on saliency map model," *IEEE Region 10 Conference*, Vol.A, pp. 223-226, November 2004.

[7] A. Kumar and G. K. H. Pang, "Defect detection in textured materials using Gabor filters," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol.38, No.2, March/April 2002.

[8] Z. Yu and Z. Jian, "Fuzzy recognition of the defect of TFT-LCD," *SPIE Electronic Imaging and Multimedia Technology IV*, Vol. 5637, pp. 233-240, February 2005.

[9] J. H. Choi, D. M. Kwak, K. B. Lee, and Y. C. Song, "Line defect detection in TFT-LCD using directional filter bank and adaptive thresholding," *Key Engineering Materials*, Vol. 270-273, pp. 233-238, 2004.

[10] H. C. Chen, L. T. Fang, L. Lee, C. H. Wen, S. Y. Cheng, and S. J. Wang, "LOG-filter-based inspection of cluster mura and vertical-band mura on liquid crystal displays," *SPIE Mach. Vision App. in Industrial Inspection*, Vol.5679, pp. 257-265, February 2005.

[11] Shin-Min Chao, Du-Ming Tsai, Yan-Hsin Tseng, and Yuan-Ruei Jhang "Defect detection in low-contrast glass substrates using anisotropic diffusion," *IEEE Trans Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)*, Vol.1, pp. 654-657, 2006.

[12] J. Y. Lee and S. I. Yoo, "Automatic detection of region-mura defect in TFT-LCD," *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, Vol.87-D, No.10, pp. 2371-2378, Jan. 2004.

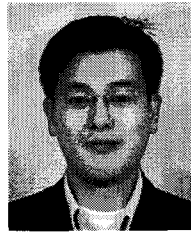
[13] 김상지, 이병국, 이준재 "B-spline을 이용한 불균일한 휘도보정 방법에 기반한 FPD결함검출," *2006 한국 멀티미디어 학회 추계학술대회 논문지*, 제 9권, 제 1호, pp. 4, 2006.

[14] 김상지, 이연주, 윤정호, 유 훈, 이병국, 이준재 "웨이블릿 변환을 이용한 FPD 결함 검출," *한국 산업 응용 수학회지*, Vol.10, No.1, pp. 47-60, 2006.

[15] 김상지, 이병국, 이준재 "불균일 휘도 보정을 위한 웨이블릿 변환에 기반한 FPD 결함검출," *2006 한국 멀티미디어 학회 추계학술대회 논문집*, 제 9권, 제 1호, pp. 5, 2006.

[16] M. Unser, "B-spline Signal Processing : part I-Theory," *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol.41, No.2, pp. 864-872, 1993.

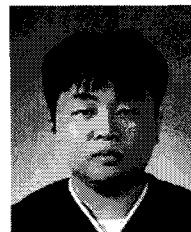
[17] Mallat SG, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet presentation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell (PAMI)*, Vol.11, No.7, pp. 647-693, 1989.



김 상 지

1996년 3월~2005년 2월 동양대학교 컴퓨터 공학부 졸업(학사)  
 2005년 3월~2007년 2월 동서대학교 소프트웨어 공학 졸업(석사)  
 2006년 8월~현재 (주)3B SYS-

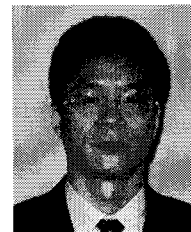
TEM 종합 연구소 연구원  
 관심분야 : 영상처리, 패턴 인식, Computer Vision



황 옹 현

2006년 동서 대학교 인터넷 공학부 졸업(학사)  
 2006년~현재 동서대학교 디자인 & IT 전문 대학원 석사과정

관심 분야 : 영상 처리, Computer Graphics



이 병 국

1987년 연세 대학교 수학과 졸업(학사).  
 1989년 KAIST 대학교 응용수학과 졸업(석사).  
 1993년 KAIST 대학교 응용수학과 졸업(박사).  
 1993년~1995년 (주)데이콤 종합

연구소 선임연구원  
 1999년~2000년 Norway, Univ. of Oslo, 연구교수  
 1995년~현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수  
 관심 분야 : Computer Graphics, CAGD



이 준 재

1986년 8월 경북대학교 전자공학과 졸업(학사).  
 1990년 8월 경북대학교 전자공학과 졸업(석사).  
 1994년 8월 경북대학교 전자공학과 졸업(박사).  
 1998년 3월~1999년 2년 Georgia

Tech. 연구교수  
 2000년 3월~2001년 2월 (주)파미 연구소장  
 1995년 3월~2007년 8월 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수  
 2007년 9월~현재 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과 부교수  
 관심 분야 : 영상 처리, Computer Vision, Biometrics