

Low Contrast 특성을 갖는 LCD 편광필름 결함의 크기 자동 검출

Automatic Extraction of Size for Low Contrast Defects of LCD Polarizing Film

박덕천, 주효남*, 류근호
(Duckchun Park, Hyonam Joo, and Keun-Ho Rew)

Abstract : In this paper, segmenting and classifying low contrast defects on flat panel display is one of the key problems for automatic inspection system in practice. Problems become more complicated when the quality of acquired image is degraded by the illumination irregularity. Many algorithms are developed and implemented successfully for the defects segmentation. However, vision algorithms are inherently prone to be dependent on parameters to be set manually. In this paper, one morphological segmentation algorithm is chosen and a technique using frequency domain analysis of input images is developed for automatically selection the morphological parameter. An extensive statistical performance analysis is performed to compare the developed algorithms.

Keywords : automatic inspection, segmentation, frequency domain

I. 서론

TFT-LCD용 편광필름은 높은 편광기능과 균일하고 높은 투과도, 특히 무결성을 유지하는 것이 중요하다. 그러나 제조상에서 먼지나 이물에 의한 결함, 접착 불량에 의한 결함, 그리고 스크래치 등 많은 결함을 가지고 있기 때문에 결함 검사를 필요로 하고 있다. 현재 이러한 결함의 검사는 검사원의 시각검사에 의존하고 있으나, 시각검사는 느린 작업속도, 높은 인건비 불균일한 검사 품질 등에 의해 효율이 떨어진다. LCD 생산 업체에서도 최근 대화면 디스플레이에 적용되는 편광필름의 결함에 의한 비용손실이 엄청나기 때문에 자체 검사 공정을 가동하고 있는 상황으로 편광 필름의 고품질을 요청하고 있다. 편광필름 생산업체도 편광필름이 대면적화 되면서 검사원에 의한 검사의 한계에 부딪히고 있다. 이러한 종합적인 이유 때문에 편광필름 검사의 자동화 요구가 급증하고 있다.

비전 측정 시스템을 개발하기 위해서는 측정하고자 하는 대상물에 대한 깊은 고찰과 특성에 폭넓은 이해를 통해 최적의 비전 알고리즘을 적용하기 위한 최상의 영상을 얻도록 설계되어야 하고, 이러한 영상을 얻기 위해서는 광학계와 알고리즘 간의 연계성에 대한 깊은 이해가 필요하다.

본 논문에서는 TFT-LCD의 구조 중에서 편광필름 부분의 다양한 결함을 검출하기 위해 기존의 Region Mura 후보영역

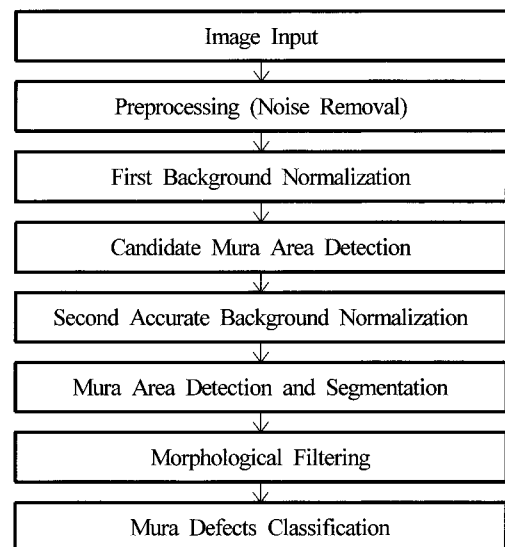


그림 1. Mura 후보영역 검출 알고리즘.

Fig. 1. Candidate mura area detection algorithm.

역 검출 알고리즘을 적용해 보았으며 그 흐름도는 그림 1과 같다.

$$I_r = kI_0 \cos \theta + f(x) \quad (1)$$

수식 (1)에서 I_r 는 명암이미지를 의미로 ideal한 이미지를 말한다. θ 은 광원과 검사시료에 대한 입사각을 의미하며, k 는 검사시료 표면 상태이고 I_0 는 광원의 조도 값을 의미한다. 그림 1의 Mura 후보영역 검출 흐름도는 아래 수식 (1)에서 $f(x)$ 의 영상을 제거하는 방법으로는 효과적이거나 광학계에 의한 영상의 불균일 요소인 수식 (1)의 $kI_0 \cos \theta$ 은 제거하기 힘들다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 HFM (Homomorphic Filtering Method)을 다루었고 closing residue

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 1. 31., 채택확정 : 2008. 2. 24.

박덕천, 주효남 : 호서대학교 디지털디스플레이공학과
(luxferre77@naver.com/hnjoo@hoseo.edu)

류근호 : 호서대학교 로봇공학과(khrew@hoseo.edu)

※ 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과와 산업자원부의 지방기술 혁신사업(RTI04-01-02)지원으로 수행했음.

를 위한 Morphology Mask 크기를 자동 설정하도록 하였다. Morphology Mask 크기를 결정 할 수 있으려면 결함의 크기를 우선 알아야 한다. 결함의 크기와 특성을 자동으로 알아 내어 검사 효율을 증대시키는 구조로 최근 산업에서는 레이저 용접에서 그 성능을 발휘하고 있다[1]. 앞으로 자동 검출의 활용성이 확대될 것이라 생각되며, 그 방법에 있어 본 논문에서는 FFT Spectrum 영상을 분석하여 Morphology Mask 크기를 자동 설정 할 수 있도록 연구 하였다.

II. 결함 영상 불균일 조도 개선과

결함 크기정보 해석 방법

1. 불균일 조도 개선 알고리즘

먼저 위 서론에서 언급한 거와 같이 수식 (1)과 같이 촬영된 영상의 조도 불균일을 개선하기 위해 HFM으로 처리 하였으며, HFM의 수학적 정의는 다음과 같다.

좌표 (x, y) 의 명암 이미지를 $I(x, y)$ 라고 하면, 수식 (2)와 같이 정의 할 수 있다.

$$I(x, y) = i(x, y) r(x, y) \tag{2}$$

수식 (2)에서 $r(x, y)$ 은 반사율, $i(x, y)$ 는 공간상에서의 조도의 양을 나타낸다. 이미지의 조도 $i(x, y)$ 에 의해서 거의 변화가 없고, $r(x, y)$ 에 의해서만 변한다면, $i(x, y)$ 는 상수인 i_0 로 대신할 수 있고, 이미지는 표면의 반사율 특성만을 반영하는 것을 알 수 있다. 수식 (2)에 자연로그(Ln)를 치하면 수식 (3)과 같다.

$$g(x, y) = \text{Ln}I(x, y) = \text{Ln}i(x, y) + \text{Ln}r(x, y) \tag{3}$$

공간상에서의 조도 $i(x, y)$ 가 상수이기 때문에 수식 (3)은 다음 수식 (4)와 같은 근사식으로 표현할 수 있다.

$$g'(x, y) = \text{LPF}\{g(x, y)\} \approx \text{Ln}i_0 \tag{4}$$

$I(x, y)$ 의 평균 밝기를 i_0 라 놓으며 모델링된 이미지의 명암 $I'(x, y)$ 는 수식 (5)와 등가화 된다.

$$I'(x, y) = \exp\{g(x, y) - g'(x, y) + \text{Ln}i_0\} \approx i_0 r(x, y) \tag{5}$$

$g(x, y)$ 에 대한 LPF(Low Pass Filter)의 값은 주위 화소들의 명암값의 평균값으로 근사화 할 수 있다.

$$g'(x, y) = \text{LPF}\{g(x, y)\} \approx \frac{1}{2N_x \times 2N_y} \sum_{i=x-N_x}^{x+N_x} \sum_{j=y-N_y}^{y+N_y} g(x, y) \tag{6}$$

수식 (6)에서 $2N_x$ 와 $2N_y$ 는 이미지 $I(x, y)$ 의 x축과 y축의 크기이다. 결국 $g(x, y)$ 에서 $\text{LPF}\{g(x, y)\}$ 성분만을 제거하는 다음 수식과 같이 표현할 수 있다.

$$I'(x, y) = g(x, y) - \text{LPF}\{g(x, y)\} \approx \text{HPF}\{g(x, y)\} \tag{7}$$

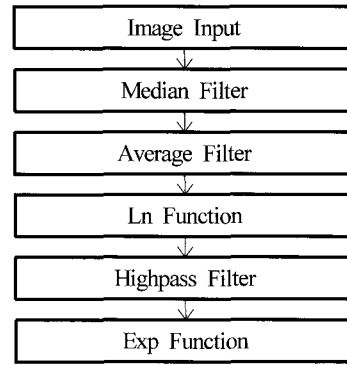
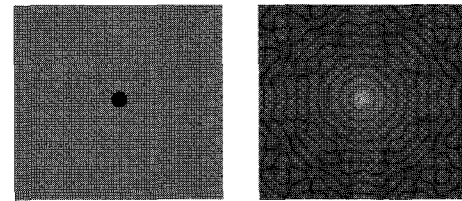


그림 2. 불균일 조도 개선 알고리즘 흐름도.

Fig. 2. Nonuniform illumination improved algorithm flowchart.



(a) Original 영상 (b) FFT Spectrum 영상

그림 3. 결함의 FFT spectrum.

Fig. 3. FFT spectrum of defect.

여기서, $g(x, y)$ 는 $\text{Ln}I(x, y)$ 이다.

$$I'(x, y) = \text{HPF}\{\text{Ln}I(x, y)\} \tag{8}$$

수식 (8)에 의해 세이딩 현상을 포함하고 있는 영상에서 저주파 성분을 제거함으로써 영상의 불균일한 조도를 개선한다. 조도 불균일 개선 알고리즘 흐름도는 그림 2와 같다.

2. FFT Spectrum의 결함 크기 해석 방법

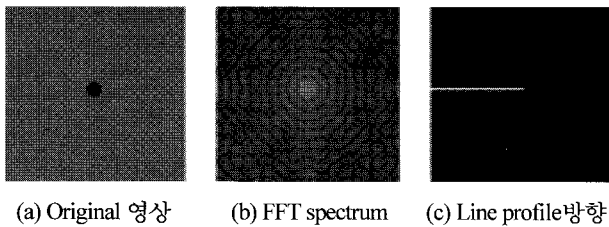
실험을 위해 결함과 배경의 명암차이가 100 Pixel인 Circle 모양의 결함 영상의 FFT Spectrum 결과는 그림 3과 같으며, 이때 FFT Spectrum은 수식 (11)과 같다. FFT의 1차원 전개는 수식 (9)와 같으며 Euler 공식에 의해 수식 (10)과 같이 전개 되어 진다.

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) e^{-j2\pi ux/N} \tag{9}$$

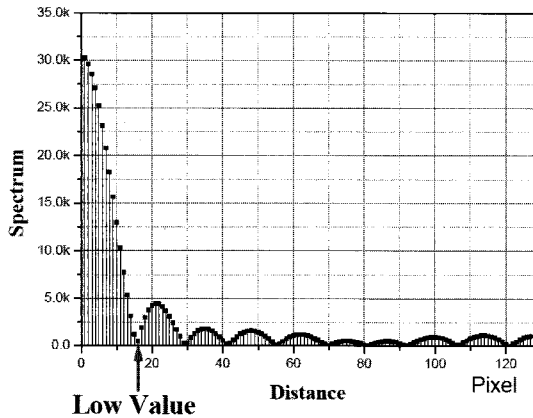
$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \left[\cos\left(\frac{2\pi ux}{N}\right) - j \sin\left(\frac{2\pi ux}{N}\right) \right] \tag{10}$$

$$|F(u, v)| = [R^2(u, v) + I^2(u, v)]^{1/2} \tag{11}$$

수식 (10)과 같이 FFT는 영상을 Cos파와 Sin파로 해석한다. 그러므로 수식 (11)에 따른 그림 3의 FFT Spectrum영상은 결함 영상에 크기 정보를 가지고 있을 것이다. 본 논문에서는 FFT Spectrum에서 결함의 크기정보를 해석하는 방법으로 영상의 가운데를 기준으로 한 Line Profile을 적용하였으며, 실험 영상에 따라 Line Profile 방향을 FFT Spectrum의 고주파가 형성되는 방향으로 바꾸어 값을 얻어 내었다. Line Profile의 방법에 대한 영상은 그림 4와 같으며



(a) Original 영상 (b) FFT spectrum (c) Line profile방향



(d) (c)의 방향에 대한 (b)의 line profile 정보

그림 4. Spectrum의 line profile.

Fig. 4. Line profile of spectrum.

표 1. 그림 4의 Low Value와 결함크기 추정 계산값.

Table 1. Low value and defect size estimation computed value of Fig. 4.

결함크기(Pixel)	Point	거리
19	Low Value	16,29,41,55,79,81,92
	결함크기 추정값	$128 \div (16 \div 2) = 16$

이때 결함 크기의 추정값과 계산 위한 Low Value의 정보는 표 1과 같다.

III. 실험 결과 및 분석

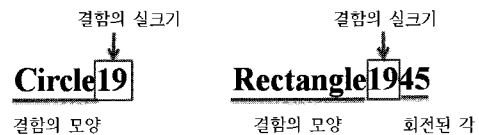
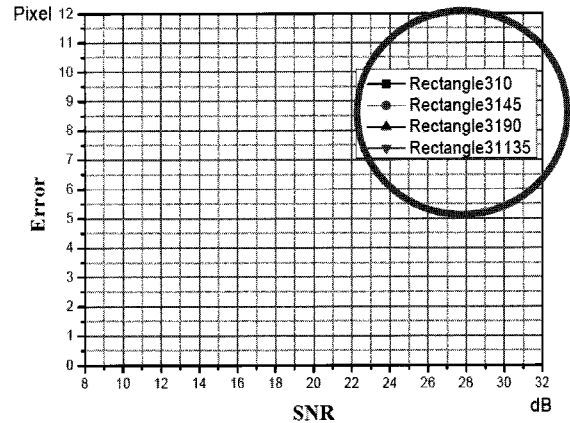
우선, 본 논문의 결과는 대부분 그래프로 보여질 것이다. 그래프에는 여러 가지 정보들이 표기 되어 있는데 이 표기 내용에 대해 그림 5와 같이 설명해 보고자 한다.

1. 결함의 모양과 크기에 따른 분석

그림 7의 Circle, Ellipse, Rectangle에 대한 결과를 보면 Circle, Ellipse 모양의 error는 같으며, Rectangle 모양 보다는 평균 15%정도 높게 나타난다.

2 Noise의 SNR 변화에 따른 분석

3.2의 실험내용에 준하여 우리가 생각해 봐야 할 문제가 있다. 우리가 영상을 얻게 되면 배경이 균일도가 일정할 수가 없을 것이다. 이를 실험하기 위해 Gaussian noise를 수식 (14)의 SNR(Signal to Noise Ratio) 값 기준으로 실험 시료에 추가하여 각 FFT Spectrum에서 Low Value을 얻어내어 결함 추정값을 계산하여 실제 결함 크기와의 Error값을 그림 9와 같이 그래프로 나타내었다.



ex) CircleGra19

➡ 배경과 결함의 경계부분이 경사가 이루어져 구분되는 19 Pixel 크기의 원모양 결함

Ellipse25135

➡ 배경과 결함의 경계부분이 급격히 구분되는 25 Pixel 크기의 타원 모양이 135도 회전된 결함

그림 5. 그래프 표기정보 해석법.

Fig. 5. Interpreting method of graph declaration information.

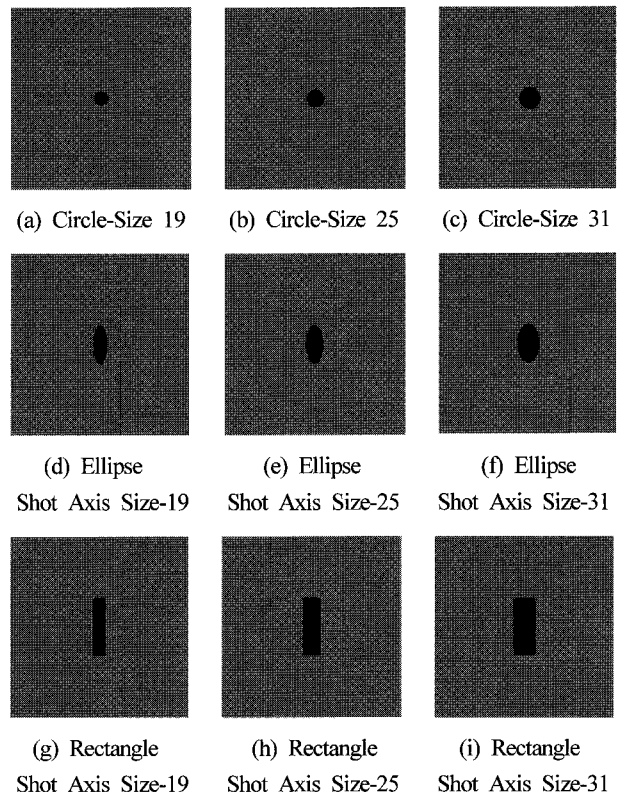


그림 6. 모양에 따른 결함 크기 변화 시료.

Fig. 6. Defect size changed sampling with shape.

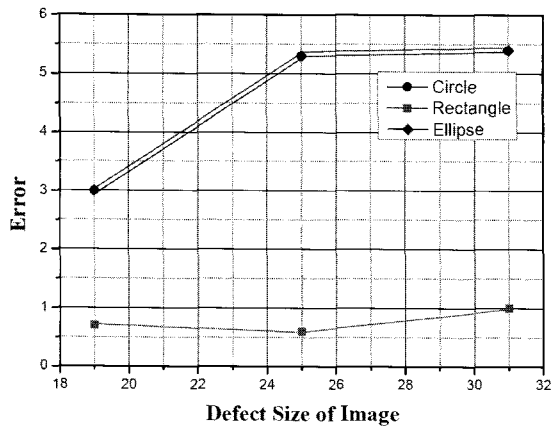


그림 7. 그림 6의 결함 크기별 error 결과.

Fig. 7. Error result of Fig. 6 with defect size changing.

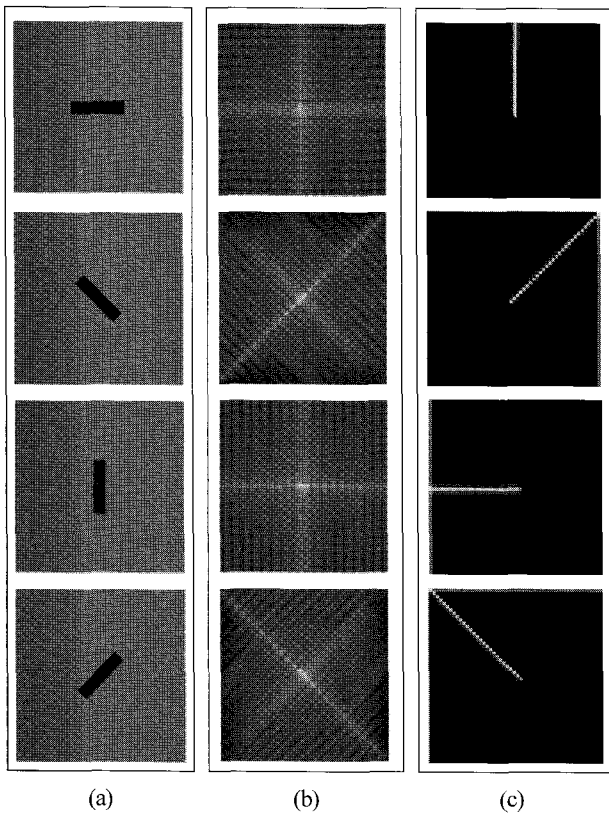
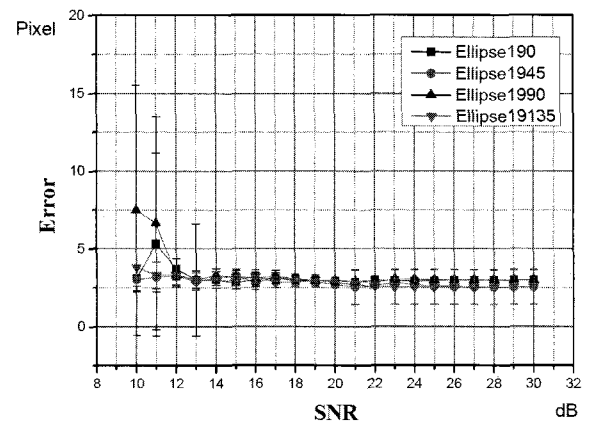


그림 8. 회전된 결함 이미지의 spectrum 해석 방향.

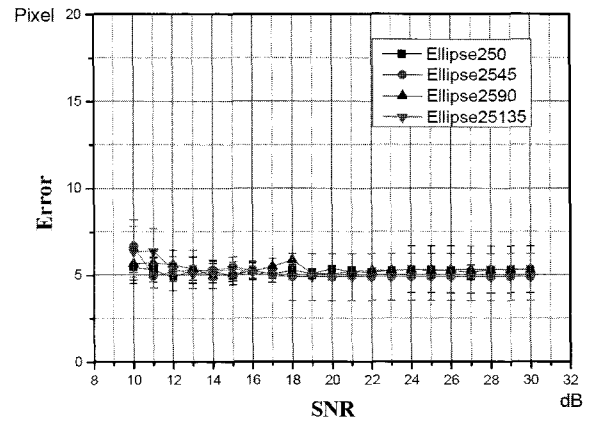
Fig. 8. Spectrum analysis direction of rotated defect image.

$$SNR = 20 \log_{10} \left[\frac{\text{Signal deviation}}{\text{Noise deviation}} \right] \quad (14)$$

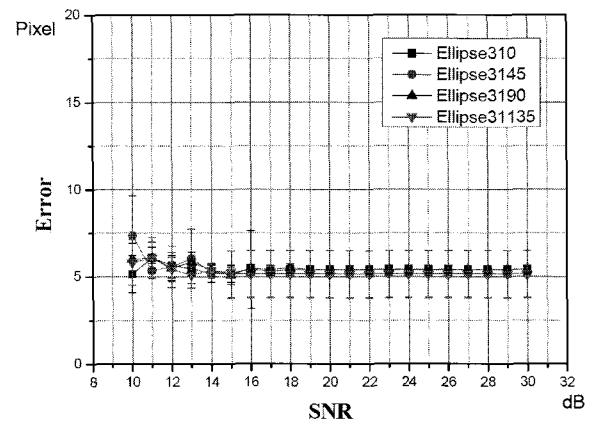
실험에서는 Ellipse와 Rectangle 시료에 크기별 회전각 변화를 주어 각각의 변화에 Gaussian noise를 추가하여 신뢰성을 높이기 위해 30회 반복 실험하였다. 이때 회전에 따른 Spectrum 분석을 회전각에 따라 달리 하였다. 이는 실험에 대상이 되는 결함의 회전각을 미리 알고 있다는 전제를 두고 각 결함의 단축 방향 즉 고주파가 형성되는 방향으로 Spectrum을 그림 8과 같은 방향으로 해석 하였다.



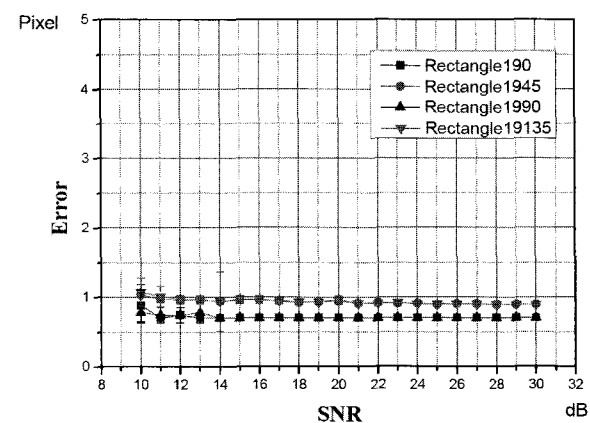
(a) Shape : Ellipse, Shot Axis Size : 19 Pixel



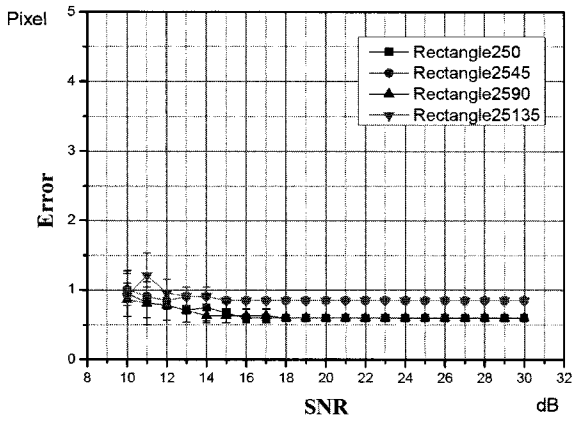
(b) Shape : Ellipse, Shot Axis Size : 25 Pixel



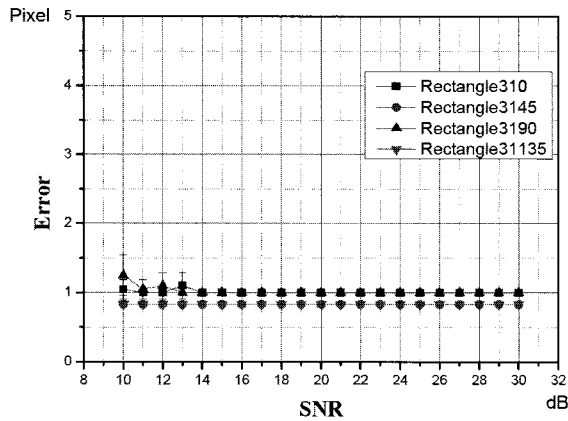
(c) Shape : Ellipse, Shot Axis Size : 31 Pixel



(d) Shape : Rectangle, Shot Axis Size : 19 Pixel



(e) Shape : Rectangle, Shot Axis Size : 25 Pixel



(f) Shape : Rectangle, Shot Axis Size : 31 Pixel

그림 9. Ellipse과 rectangle의 SNR 수치에 따른 error 결과.
Fig. 9. Error result of ellipse and rectangle with SNR value.

그림 9의 결과에서 보면 Ellipse의 경우 Error가 결합 크기 비율에 약 22% 이내에서 거의 변동 값을 갖지 않는 좋은 결과를 얻고 있으며, Rectangle의 경우 error가 결합 크기 비율에 약 4% 이내에서 거의 변동 값을 갖지 않는 좋은 결과를 얻고 있다. 전체적인 결과를 보면 결합의 크기가 작을수록 noise에 민감하며, 클수록 noise에 둔감한 것을 알 수 있다. 지기 때문이다. 예를 들어 Spectrum image에서 원점으로부터 대각선 약 45°방향은 Cos파와 Sin파의 성분이 50%씩 차지하게 된다.

VI. 결론

Contrast 차가 적은 결합을 검출하기 위해 기존 알고리즘에서는 Segmentation 과정에서 Morphology Residue를 연산하

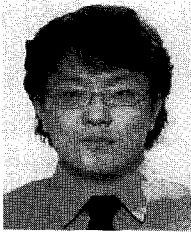
게 되는데 이때 Mask 크기를 사용자에게 의해 설정하므로 결합의 크기 변화에 따라 일일이 다시 지정해 주어야 하는 번거로움이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 FFT Spectrum의 Low Value 정보로 결합 크기를 추정하여 Morphology Mask 크기를 결합 크기에 맞게 자동 설정하는 방법론(Automatic Morphology Mask Selection Method)을 제시하였다.

제안한 방법의 유효성을 시험하기 위해 Circle 모양의 시료에는 크기 변화를 주었고, Ellipse 및 Rectangle 모양의 시료에서는 회전 변화를 주었으며 Gaussian noise의 분산값과, 시료의 결합이 배경과 명암차이를 이루는데 이때 명암차이의 분산값의 비율인 SNR 수치를 10에서 30까지 증가시키면서 제안한 알고리즘의 유효성을 수치적으로 보였다. Ellipse와 Rectangle 결합의 경우, 회전각에 따라 약 2%의 Error 편차를 보였으며, Circle, Ellipse와 Rectangle 결합의 모든 경우에 대해 Gaussian noise 영향이 SNR 수치에 반비례하여 나타남을 알 수 있었다.

향후 수치모사 실험한 결합 이미지 보다 복잡한 환경에서 사용할 수 있도록 본 논문에서 제안한 방법을 개선 및 적용해 보고자 한다.

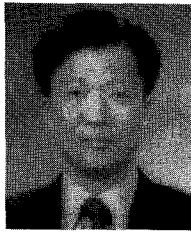
참고문헌

- [1] Y. Sun, P. Bai, H.-Y. Sun, and P. Zhou "Real-time automatic detection of weld defects in steel pipe," *NDT&E international*, Received 8 April 2004; accepted 17 January 2005, Available online 9 March 2005.
- [2] T. Pun, "Entropic thresholding : A new approach comput," *Visioin Graphics Image Process*, vol. 16, pp. 210-239, 1981.
- [3] J. N. Kapur, P. K. Sahoo, and A. K. C. Wong, "A new mehtod for cray-level picture thresholding using the entropy of the histogram," *Comput. Vision Graphics Image Process*, vol. 29, pp. 273-285, 1985.
- [4] S. W. Lawson and G. A. Parker "Automatic detection of defects in industrial ultrasound images using a neural network," *Mechatronic Systems and Robotics Research Group Department of Mechanical Engineering University of Surrey, Guildford, Surrey, GU2 5XH, United Kingdom*.
- [5] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 2002.



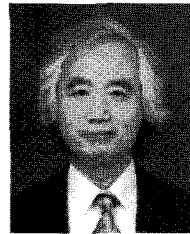
박덕천

1977년 12월 10일생. 2003년 호서대학교 물리학과(이학사). 2008년 호서대학교 디지털디스플레이공학과 대학원(공학석사). 2008년 동 대학원(공학박사과정 입학).



류근호

1971년 1월 30일생. 1994년 KAIST 기계공학과(공학사). 1996년 동 대학원(공학석사). 2001년 동 대학원(공학박사). 1998년~2003년 미래산업. 2003년~2005년 파인디앤씨. 2005년~현재 호서대학교 로봇공학과 교수. 관심분야는 모터의 잔류진동 제어, 온도 제어, 생체신호처리, 반도체/디스플레이 장비 개발.



주호남

1953년 8월 2일생. 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 디스플레이공학과 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.