

이동평균 영상처리기법을 이용한 금속판재 표면품질 정밀 측정시스템 연구[†]

(A Study on Precision Measurement System for Metal Plate Surface Quality Using Moving Average Image Processing Techniques)

김 태 수*, 전 중 창**

(Tae-Soo Kim and Joong-Chang Chun)

요 약 산업자동화를 위한 영상처리기술을 활용하여 금속 표면 검사 공정의 육안 검사를 대체하기 위한 장치개발이 요구된다. 본 논문에서는 압연 공정의 금속 판재 표면의 결함을 탐지하기 위하여 이동평균 영상처리기법을 적용한 정밀측정시스템을 제안하였다. 금속 판재의 압연 처리 과정에서 발생하는 표면 패턴이 결함으로 판정될 수 있다. 이러한 경우에 대하여 제안한 시스템을 적용하여 금속 판재 표면의 실제 결함의 수를 측정할 수 있었고 FFT방법에 의한 측정에 비하여 양호한 결과를 얻었다.

핵심주제어 : 이동평균, 영상처리 기법, 금속 표면 결함

Abstract It has been highly required to develop an automatic metal surface inspection system, specifically using image processing techniques, which can replace the visual inspection method in the steel industry. In this paper, we propose a precision surface measurement system using the moving average image processing technique. When the surface patterns which are generated in the rolling process of metal plates are recognized as defects, the proposed system can measure the actual number of defects. It has been proved that our system shows better results than the conventional FFT method.

Key Words : Moving Average, Image Processing Techniques, Metal Surface Defects

1. 서 론

철강제품의 생산과정에서 품질의 향상을 위하여 제품의 결함을 발견하여 적절한 조치를 취할 수 있도록 결함에 대한 정보를 생산자에게 전달하는 일은

중요하다. 또한 각종 산업설비에서 발생될 수 있는 광범위한 결함에 대한 분석 및 평가가 산업설비의 수명진단과 시설의 안정성을 평가하는데 중요한 요소로 작용하고 있다. 이를 위해서 이러한 결함을 실시간으로 계측할 수 있는 각종 기술들이 개발되고 있다[1]-[4].

생산현장에서 금속표면에 발생하는 결함의 크기를 측정하는 방법으로 육안에 의한 직접측정방법과

[†] 위 논문은 2010년도 경남과학기술대학교 기성회 연구비에 의하여 연구 되었음.

* 위덕대학교 정보통신공학과, 교신저자

** 경남과학기술대학교 전자공학과

CCD 카메라 등을 이용한 간접측정방법으로 크게 나눌 수 있다. 그러나 직접적인 측정방법은 정확한 데이터를 얻기 위하여 많은 시간과 노력이 필요하며 대량생산 현장의 경우 측정 장치에 의한 측정 오차에 비하여 관리자의 개인적 관측오차의 발생률이 커질 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Guifang Wu [1]에서는 주파수 영역에서 Fast Fourier Transform(FFT)의 방법을 이용하여 결함을 검출하는 방법을 제시하였다. 또한 Alirezaee 등[2]은 영상처리 알고리즘을 이용한 철(steel)의 결함 검출을 하였고, Kim 등[3]은 목재 표면의 결함을 분류하는 연구를 수행하였다.

그리고 Rebuffel 등[4]은 마그네슘 주조의 결함 검출을 방사선 사진을 이용하여 시도했으나 이는 방사선 장치를 제작하는데 어려움이 따르고 경제성도 문제시 된다. 김상원 등[5]은 현미경을 이용한 작은 금형 부분의 표면 결함을 검출하고자 하였는데 영상처리 알고리즘으로 주파수 응답 특성을 이용하였다. 그러나 이러한 방법은 검출하려는 대상물체가 커지게 되면 처리해야 될 데이터의 양이 많아 실시간으로 처리하는데 문제가 된다.

본 논문에서는 1분에 10m의 속도로 진행되는 금속 판재 표면의 결함을 실시간으로 검출하기 위해서 실시간 처리가 가능한 이동평균에 의한 영상처리 기법을 적용하고 또한 일반광원 대신 적외선광원에 의한 사선광선 투사 방법을 사용한 결함 검출 시스템을 제안하고자 한다. 제안한 시스템의 결함 검출 방법은 기존에 사용되어 왔던 육안에 의한 검사를 대체할 수 있는 방법으로 G. Wu[1]가 제안한 FFT 주파수 영역에서 검출한 결과에 비하여 본 시스템의 성능이 우수함을 보이고자한다. 그리고 본 연구에서 대상으로 하는 판재를 압연하는 과정에서 브러쉬에 의해 규칙적으로 발생하는 헤어라인 패턴에 대하여 일반적인 영상처리 기법을 적용할 경우에 패턴 자체가 결함으로 인식되어 질 수 있다. 따라서 규칙적으로 발생하는 패턴에 영향을 받지 않고 결함을 검출하기 위하여 본 연구에서 제안하는 방법을 이용하여 실제적인 결함을 검출할 수 있음을 보이고자 한다.

본 논문은 제2장에서는 결함인지 및 검출 시스템에 대하여 설명하고 제3장에서는 영상처리 알고리즘을 제시하며, 제4장에서 실험을 통한 결과를 보인다.

2. 결함 인지 및 검출 시스템

2.1. 표면결함의 상태 정의

판재의 전용 표면결함의 상태를 판정하기 위해서 각 결함에 대한 시각적인 정의를 다음과 같이 한다.

1) 덴트(Dent)는 이물질에 의한 눌림 형태의 결함을 뜻하는 것으로 눌림의 정도가 적어 원형 형태를 가지는 모양으로 분류하며 주기성 또는 비주기성을 가진다.

2) 스크래치(Scratch)는 표면 결함의 상태가 길게 선을 그어놓은 형태를 가지며 거의 일직선으로 그 결함의 폭이 일정하고 정상부위보다 밝게 선형으로 보이는 상태이다.

3) 크랙(Crack)은 판재 표면에는 선형으로 나타나지만 스크래치와 보다 직선성이지 않고 오염 물질이 존재하는 경우가 있으며 중앙부분이 색상의 변동이 생기는 형태로 스크래치와 구분하기가 어려운 경우도 발생한다.

2.2. 결함인지 검출 시스템

본 결함 인지 및 검출시스템은 공정과정에서 진행되는 시편을 CCD카메라를 이용하여 영상을 얻게 된다. 시편의 위치는 좌우로 고정되어 진행하며 진행



<그림 1> 결함 인지 및 검출시스템

방향의 결함을 검출하게 된다. 본 연구과정에서 개발한 결함 인지 및 검출시스템을 <그림 1>에 나타내었다. 본 시스템은 CCD카메라, 적외선조명장치, 선반, 디스플레이, 산업용PC, 결함 인지 및 검출 시스템으로 구성되어 있다.

상기 <그림 1>의 결함 인지 및 검출시스템에서 CCD카메라는 시편의 에지를 인식하기 위하여 배율이 양호한 렌즈를 카메라에 부착하여 결함 영상을 취득하였다. 본 연구에 사용한 카메라의 일반조명으로 LED 조명을 사용하였고 빛이 없는 곳에서도 양호한 결과를 도출하기 위하여 적외선(IR: infrared) 광원을 사용하였다. CCD카메라로부터 받아들여진 영상신호는 frame grabber로 입력되어 산업용 PC와 모니터로 보내지게 된다. 그리고 다음에 결함 인지 및 검출시스템에 보내진 후 처리된 데이터를 얻게 된다.

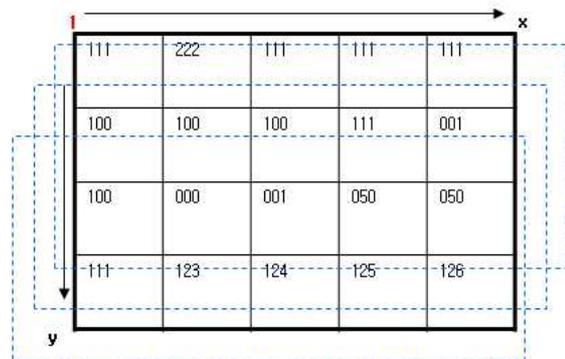
3. 결함 영상처리 알고리즘

3.1 이동평균 알고리즘

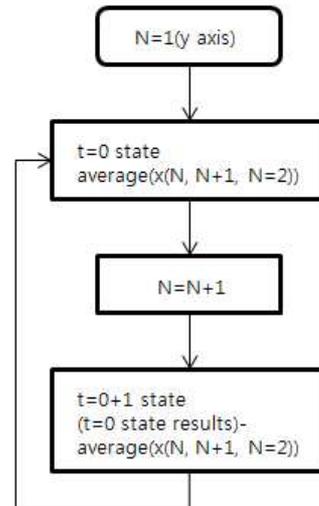
결함 탐지 영상처리 알고리즘은 영상취득 과정과 영상 평균화 과정으로 나눌 수 있다. 영상취득은 CCD카메라에 의해 라인Scan 방식으로 이루어지며 오버랩이 되도록 영상을 획득하게 된다. 이러한 과정을 <그림 2>에 나타내었다.

여기서 <그림 2(a)>는 영상인식영역, 즉 ROI (Region of Interest)와 에지 결함 검출 영역을 나타낸다. ROI에서 판재를 진행방향으로 3개 window를 통해 인식이 순차적으로 이루어진다. 만약 순차적으로 이루어지지 않을 경우에 오차발생이 커지게 된다. 또한 <그림 2(a)>에서 x축 방향으로의 폭이 600mm인 경우 이러한 폭 0-600mm를 16,000 픽셀로 나누어 CCD Line 스캐너에 의하여 입력되며 롤(roll) 길이 방향으로 이동하면서 영상데이터를 획득하게 된다. 여기서 각 픽셀 데이터의 농도 값은 0-255로 측정하게 된다. 상기 알고리즘은 <그림 2(a)>에서와 같이 진행방향의 3개 항을 이동하며 평균처리하고 x축 방향은 전체 영역으로 처리하게 된다.

표면 결함 검출의 첫 단계로 판재 시료의 표면에 대한 이미지를 획득한다. 그 다음 평균값 계산 단계



(a)



(b)

<그림 2> 결함 검출 알고리즘 (a) 이동평균 도식 (b) Flow Chart

는 이미지 획득 단계에서 획득된 이미지를 픽셀 단위로 $n \times m$ 행렬로 구분하고, 각 열별로 k 번째에 위치한 픽셀부터 연속된 j 개의 픽셀들에 대한 픽셀 값 P_k 들의 평균값 a_l 을 계산하게 된다. 즉, 평균값 계산 단계는 모든 열에서 k 가 첫 번째 픽셀부터 $n-(j-1)$ 픽셀까지의 픽셀을 기준으로 $n-(j-1)$ 개의 픽셀들에 대한 픽셀값 P_k 들의 평균값 a_l 을 구하게 되는데 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$a_l = \frac{\sum_{k=l}^{l+j-1} P_k}{j} \quad (1)$$

여기서 $l = 1, 2, \dots$, 평균값 a_l 는 각 열별로 계산되는 평균값이다.

표면결함 검출 방법의 다음 단계는 결함이 있는 위치를 판단하는 단계로 이동평균을 구한 픽셀간의 차의 절대값이 threshold값 c 보다 큰 값을 2치화하여 배열에 저장하게 된다. 즉

$$|a_i - b| > c \quad (2)$$

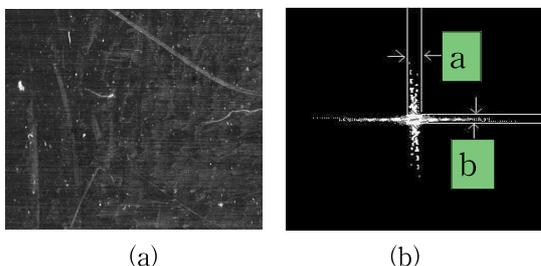
여기서 $b = a_{i+1}$, 이고 c 는 결함의 크기를 기준으로 정하는 threshold값이다. 만약 threshold값을 크게 잡으면 적은 결함은 나타나지 않게 될 수 있다.

다음 단계는 결함이 덴트, 크랙, 스크래치, 오염 중에 어느 것인지 판단하는 단계로 (2)식에 의해 새로 생긴 배열의 형태를 바탕으로 판단하게 된다. 우선 배열의 첫 행부터 1의 숫자를 카운트하는데 1의 숫자가 나타났다가 0의 값이 2번 이상 나타나면 하나의 결함으로 판단하게 된다. 그 이유는 세 픽셀간의 평균을 구하기 때문이다. 본 논문에서는 크랙의 크기가 덴트와 차이가 나지 않고 깊이 정보를 얻기 어렵기 때문에 같은 결함으로 판정하고 1의 값이 상, 하, 좌, 우, 대각선 방향으로 3픽셀이상 연속적인 경우에 스크래치로 판정하게 된다. 이 경우 스크래치로 판명된 부분에 속했던 다른 결함의 숫자는 줄어든다.

3.2 2차원 FFT 알고리즘

본 논문에서 제안한 이동평균 알고리즘과 비교 검토하기 위하여 G. Wu[1]가 제안한 FFT 알고리즘을 이용하고자 한다.

G. Wu는 덴트, 스크래치, 크랙으로 영상을 분리하였고 다음 그림과 같이 원 영상에 대한 FFT변환 영상을 나타냈다.



<그림 3> 원 영상과 FFT 변환된 영상 (a) 원 영상 (b) FFT 변환 영상

<그림 3>에서 파라미터 a 는 폭이고 b 는 스펙트럼 영역의 높이이다. 이들 폭과 높이의 파라미터를 가지고 결함의 량 n 을 구할 수 있다. 즉,

$$n = \frac{N}{2} \times (a + b) - ab \quad (3)$$

상기 (3)식은 [1]에서 픽셀의 수를 카운트할 위치를 명시하지 않았으나 본 논문에서는 <그림 3b>에서 a 와 b 의 기준은 결함이 없는 원 영상에 결함을 만들어 여러 번 실험을 통하여 육안으로 알 수 있는 값에 가까운 값으로 다음과 같이 정하였다. 영상의 중심점에서 수직 방향으로 중심선($N=64$ 인 경우 32)을 기준으로 배열까지의 값이 존재하는 픽셀의 수를 세어 그 값을 a 와 b 로 정하였다. 또한 그 위치는 중심선의 데이터가 존재하는 중간지점(1/2)의 값에서 덴트/크랙으로 정하며 중간지점으로부터 2/3지점을 스크래치가 있는 지점으로 하였다. 또한 실제 결함 수 n' 는 (2)식에 결함 량 n 에 대하여 중심에서의 횡축과 종축에서 값을 가지는 픽셀의 수의 곱인 면적으로 나눈 값이다. 즉

$$n' = n / (m * m') \quad (4)$$

여기서, m 은 종축의 값이 존재하는 픽셀 전체의 수, m' 는 횡축의 값이 존재하는 픽셀 전체의 수를 나타낸다.

4. 실험 및 결과

실험을 위해서 100mm×100mm 크기의 판재를 사용하였고, 정상 판재와 결함이 있는 판재로 구분하여 실험을 행하였다.

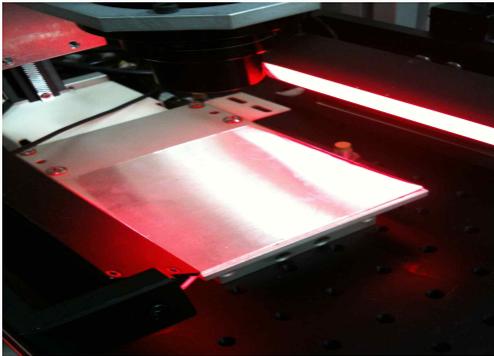
실험에 사용된 컴퓨터는 산업용 컴퓨터로 <그림 1>에 나타낸 결함 인지 및 검출 시스템이다.

시스템에서 Frame Grabber는 Euresys사의 Grablink Avenue 제품으로 최대 픽셀 클럭 85 Mhz, PCI 64-bit 인터페이스를 사용한다.

CCD 카메라는 JAI사의 CV-M4+CL 제품으로 1380 * 1030의 해상도를 가지며 색상은 흑백에 NIR 파장대를 가진다.

모니터는 17" LCD이며 PC는 ASUS Workstation (VGA 내장), 2 GB RAM, 500GB HDD, Intel 3.0 Ghz Dual CPU를 가진다.

사용된 소프트웨어는 Visual Basic이다. 또한 조명은 일반조명으로 HLV2-22RD-3W (LED)을 사용하였고, 특수 조명으로 IR 할로겐 Light Source 조명을 사용하였다.



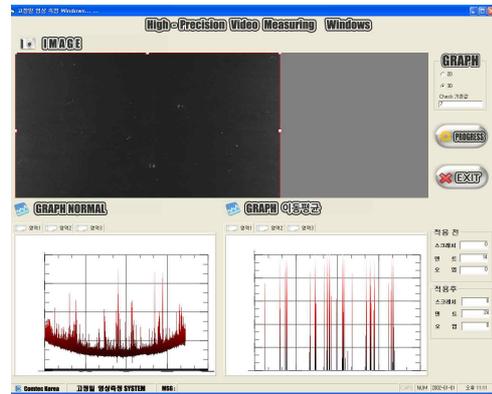
<그림 4> 시스템의 조명 위치

상기 <그림 4>는 시험 판재를 올려놓은 판재 및 조명의 위치를 나타낸다. 또한 덴트/크랙이 존재하는 경우 알고리즘을 적용한 고정밀 측정 화면을 <그림 5>에 나타낸다.

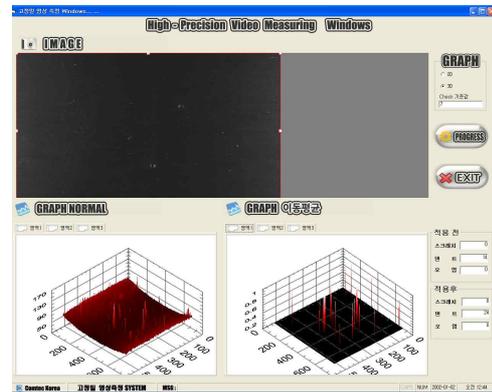
<그림 4>는 판재 시료의 결함을 측정되기 위하여 RED LED 조명하에서 지나가는 상태이다. 그림에서와 같이 적외선 광선을 사선으로 좌우 옆에서 조명하기 때문에 휘도를 조정하여도 중앙에 가까운 영역과 가장자리에서의 휘도가 다르다.



(a)



(b)



(c)

<그림 5> 덴트/크랙이 존재하는 경우 알고리즘을 적용한 고정밀 측정 화면 (a) 시편 (b) 측정화면(1차원) (c) 2차원 화면

따라서 <그림 5(b)>의 하단 좌측에 나타난 바와 같이 중앙에서 보다도 좌우의 결함 영상이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 영상의 사이사이에 적게 나타나는 부분은 브러쉬에 의한 헤어라인에 의한 것이다. 만약 이러한 부분을 제거하기 위하여 threshold값을 전체 값의 3/4정도 높이게 되면 중앙에서의 실제 결함이 사라지게 된다. 이에 비하여 이동평균에 의한 영상처리기법을 적용한 <그림 5(b)>의 하단 우측에 영상을 보면 평균화되어 있기 때문에 사용자가 필요로 하는 만큼 threshold값을 올려서 결함의 크기별로 선택할 수 있게 된다. 여기서 알고리즘별 비교를 위하여 N=256으로 수행하였다.

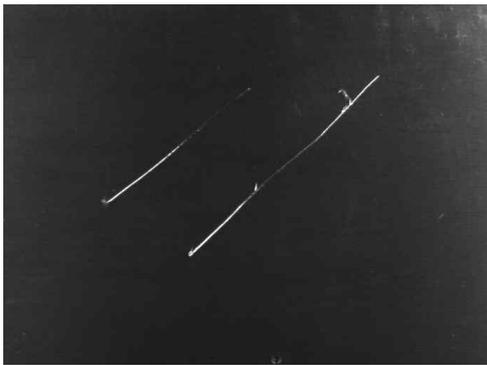
다음 <표 1>은 <그림 5(a)>의 시료에 대한 육안 및 알고리즘 별 결함의 수를 나타낸다.

<표 1> 알고리즘에 따른 결함의 수

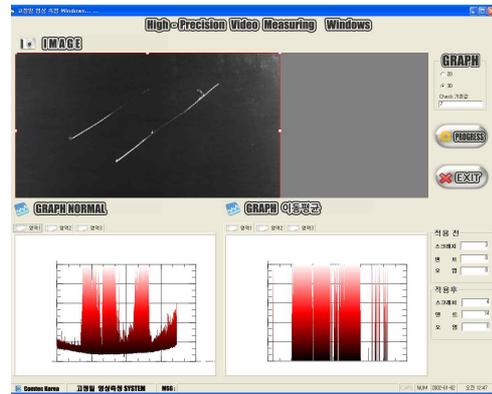
구분	dent/ crack	scratch
육안에 의한 방법	24	0
제안한 방법	24	0
FFT 방법	18	0

<표 1>에서는 제안한 알고리즘과 비교를 위하여 3장에서 설명한 종래의 방법인 주파수영역에서 FFT 알고리즘을 이용한 방법[1]을 동일한 판재에 대하여 구한 결함의 수를 함께 나타내었다. <표 1>에 나타낸 바와 같이 육안에 의한 방법으로 구한 24개의 결함 수는 덴트와 크랙을 합친 숫자이다. 제안한 방법의 threshold 값은 <그림 5(c)>하단 우측 그림에서와 같이 전체크기를 1로 했을 때의 0.4이다. <그림 5(c)>하단 좌측의 이동평균을 하지 않고 판정하며 threshold값을 90으로 했을 때 14개의 결함 수를 나타낸다. 또한, FFT 방법에서 $a=2, b=3, m=5, m'=7$ 으로 (2)식과 (4)식을 이용해서 $N=256$ 점으로 FFT를 행하여 얻어진 값을 <표 1>에 나타내었다.

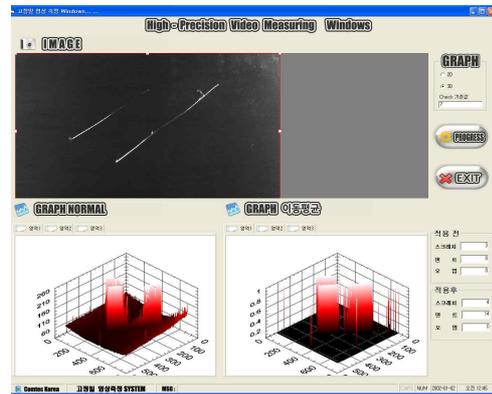
다음은 스크래치가 포함된 시료에 대한 측정을 나타내기 위한 그림이다.



(a)



(b)



(c)

<그림 6> 스크래치가 존재하는 경우 알고리즘을 적용한 고정밀 측정 화면 (a) 시편 (b) 측정 화면(1차원) (c) 2차원 화면

상기 <그림 6>에 나타낸 바와 같이 스크래치는 유관으로 볼 때 2개로 판단되지만 중간에 약간 끊어질 듯 보여 3개 또는 4개라고도 할 수 있다. 이러한 판재에 대하여 알고리즘을 적용한 결과를 다음 <표 2>에 나타낸다.

<표 2>알고리즘에 따른 결함 수

구분	dent/ crack	scratch
육안에 의한 방법	12	2
제안한 방법	14	4
FFT 방법	8	4

상기 표에 나타낸 바와 같이 육안에 의한 방법으

로 측정된 12개의 결함 수는 텐트와 크랙을 합친 숫자이다. 또한 스크래치는 육안에 의해서는 2개로 판단되나 제안한 방법은 4개이고 FFT 방법에서도 4개로 판정되었다.

제안한 방법의 threshold 값은 앞의 예에서와 같이 전체크기를 1로 했을 때의 0.4이다. 만약 threshold 값을 0.2로 하면 육안에 의한 값과 같이 2개로 일치하게 된다. 그러나 0.2로 하지 않는 것은 스크래치가 존재하지 않는 경우에 육안에 의해 판단하는 결과에 접근하기 때문이다.

FFT 방법에서 텐트와 크랙의 경우는 그 중심점에서의 값 $a = 1, b = 2, m = 6, m' = 8$ 으로 (2)식과 (3)식에서 $N=256$ 점으로 FFT를 행하여 얻어진 값이며, 또한 스크래치의 경우는 해당되는 위치에서 $a = 2, b = 4, m = 2, m' = 125$ 에 대하여 얻어진 값을 각각 <표 2>에 나타냈다. 스크래치가 존재하는 경우 공간영역에서 선의 방향과 수직으로 주파수 스펙트럼이 나타나기 때문에 텐트와 크랙에 대하여 계산하고, 직각좌표에 맞게 배열을 이동한 다음 스크래치의 계산을 행하였다.

5. 결론

본 논문은 금속 판재의 표면에 발생하는 결함을 정밀하게 측정하기 위하여 이동평균 영상처리기법 및 적외선 조명을 이용하였다.

본 논문에서 대상으로 하는 판재를 압연하는 과정에서 브러쉬에 의해 규칙적으로 발생하는 헤어라인 패턴에 대하여 일반적인 영상처리 기법을 적용할 경우에 패턴 자체가 결함으로 인식되어 질 수 있으나 본 논문에서 제안하는 방법을 이용하여 규칙적으로 발생하는 패턴에 영향을 받지 않고 실제적인 결함을 검출할 수 있음을 보였다. 또한 제안하는 방법은 기존의 FFT를 이용한 주파수영역에서의 처리 결과에 비하여 육안에 의하여 판단하는 결과에 접근할 수 있다. 본 논문의 경우는 실시간 처리가 주된 목적으로 결함의 존재여부가 중요한 현장에 적합하며 결함의 종류와 정확한 계량화가 필요한 경우에 계산에 소요되는 시간을 줄일 수 있는 하드웨어 사용과 동시에 신경회로망 알고리즘 등의 고급알고리즘 적용

이 필요하다.

본 연구에서는 2차원적인 데이터의 처리를 실시함으로써 실제 깊이 정보를 얻을 수 없었기 때문에 깊이 정보가 필요한 크랙의 정보를 파악하기 힘들었으나 추후에 3차원 영상처리를 이용하여 보완해나갈 필요가 있다고 본다.

참 고 문 헌

- [1] Guifang Wu, " Online Surface Inspection Technology of Cold Rolled Strips", Mulimedia Open Access Publisher of Scientific Books and Journals, INTECH, pp.205-232, 2010.
- [2] S. M. Alirezaee, S. Amifattahi, R. SAadri, S. Isfahan, "Detection of steel defect using image processing algorithms", IEEE multitopic Conference, INMIC 2008, pp.125-127, 2008.
- [3] C.W. Kim, A.J. Koivo, "Hierarchical classification of surface defects on dusty wood boards", Pattern Recog. Lett. Vol. 15 No.7, pp.713-721, 1994.
- [4] V. Rebuffel, S. Sood, B. Blakeley, "Defect Detection Method in Digital Radiography for Porsity in Magnesium Casings", ECNDT, 2006.
- [5] 김상원, 권인소, "지배주파수도를 이용한 미소 표면 결함 추출을 위한 영상처리 알고리즘", 제어 자동화 시스템공학 논문지, Vol.2, No.1, pp.26-34, 1996.
- [6] 장동혁, "Visual C++을 이용한 디지털 영상처리의 구현", PC어드벤스, pp.227-245, 1999
- [7] 조영창, 윤정우 외4, "모니터 화면검사 시스템 개발에 관한 연구", 한국산업정보학회논문지, Vol. 5. No. 3, pp. 111-116, 2000
- [8] 조영창, 최병진, 윤정오, "컴퓨터비전을 이용한 백라이트 표면결함 검사시스템 개발에 관한 연구", 한국산업정보학회논문지, Vol. 12, No. 3, pp.116-123, 2007



김 태 수 (Tae-Soo Kim)

- 정회원
- 1987년 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1991년 요코하마국립대 전자정보공학과 공학석사
- 1995년 요코하마국립대 전자정보공학과 공학박사
- 1996년~현재 위덕대학교 정보통신공학과 교수
- 관심분야 : 디지털신호처리, 영상인식, 휴먼인터페이스, 무선LAN



전 중 창 (Joong-Chang Chun)

- 1984년 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1991년 포항공대 전자전기공학과 공학석사
- 1995년 포항공대 전자전기공학과 공학박사
- 2003년~현재 경남과학기술대학교 전자공학과 교수
- 관심분야 : 마이크로파센서 시스템, 마이크로파 회로 수치해석, 능동배열 안테나, 무선 이동통신

논 문 접 수 일 : 2011년 11월 24일
 1차수정완료일 : 2012년 01월 13일
 2차수정완료일 : 2012년 03월 07일
 게재 확정 일 : 2012년 03월 20일