

논문 2009-3-20

# 영상처리 기법과 멀티 스레드를 이용한 철판결함 검출 시스템 개발

## System Development of Iron Plate Defects Detection System using Image Processing and Multi Thread Method

안인석\*, 최규석\*\*, 김성용\*\*\*

Ihn-Seok Ahn, Gyoo-Seok Choi, Sung-Yong Kim

요 약 본 논문은 철판 표면에 발생하는 결함을 검출하는 방법 중 이미지 프로세싱을 이용한 철판결함 검출 시스템을 제안하였다. 기존 이미지 프로세싱은 특정 주파수대의 빛 에너지를 방출하는 광원과 그 광원에 응답하는 수광 소자를 이용하는 이미지 프로세싱 기법을 사용하였으나, 본 논문에서는 자연 광원을 이용하고 광원의 주파수 특성에 의존하지 않고 이미지 프로세싱과 멀티 스레드 기법을 사용하여 결함을 검출하였다. 이 검출방법의 장점은 기존 시스템의 단점이었던 검증 방법의 난해함으로 사용자가 쉽게 접근하지 못하는 단점을 보완하여, 철판의 표면을 실시간으로 모니터링 가능하도록 하였다. 또한 발광소자와 수광 소자의 주파수 매칭을 위해 각각의 하드웨어를 주문제작 함으로 많은 비용이 소모되는 것을 시중에서 구매 가능한 하드웨어를 기본으로 구성하여 비용을 절감하였다.

**Abstract** The purpose of this research is to propose a system to detect a strip defect on a iron plate using an image processing, one way of finding defects on an iron plate. An existing way of image processing is using a light source which release a light energy in a certain frequency and a light absorbing display which responds to the light source.

This research attempts to detect defects by using a image processing and multi-Tread which handles an illumination, without depending on characteristics of light frequency. One of the advantages of this method is that it makes up for the weakness of the existing method which was too difficult for users to notice a defect. Also this method makes it possible to realize a real-time monitoring on a plate of iron. The other advantage of this method is that it reduces the price of hardwares on demand to match the frequency of light emitting display and light absorbing display because this method only needs a hardware which is easy to buy in any market.

**Key Words :** illumination, image processing, detection of strip defects

### I. 서 론

제조 공정에서 만들어지는 제품의 품질 평가 프로세스 중 결함 검출 프로세스는 원가 절감 및 높은 고객 만

족도를 얻기 위해서 중요한 공정 프로세스로 자리 매김하고 있다. 제철 공정 중 스트립 캐스팅 공정[1]에서 발생하는 철판의 결함은 종류별로 구분되어서 관리되고 있다. 그 종류에는 요철성 결함, 이물질 혼입 결함, 찌져진 철판 결함 등이 있다. 제철 공정용 철판결함검출 방법은 비접촉식 센서를 이용하는 방식이 주류를 이루고 있고, 사용된 센서에 따라 레이저를 이용하는 방법은 철판결함을

\*정회원, 위덕대학교 에너지전기공학부

\*\*중신회원, 청운대학교 컴퓨터학과(교신저자)

\*\*\*정회원, 위덕대학교 컴퓨터공학과

접수일자 2009.05.20, 수정완료.2009.06.10

측정하는 장치의 해상도가 1mm<sup>2</sup>이하로 높아짐에 따라 레이저를 이용한 철판 결함 측정 방법은 거의 사용되지 않고 있다. 카메라의 이미지를 이용한 철판 결함 측정 방법은 사람이 직접 특정 에러를 감지할 수 있기 때문에 신뢰성 높은 결함 측정 방법으로 개발 가능한 장점을 지니고 있다. 그리고 측정하고자 하는 철판의 결함크기는 점차 작아짐에 따라 고해상도 카메라가 요구되고, 0.1mm<sup>2</sup> 이하 면적 크기의 고해상도로 철판의 결함을 검출하기 위해서는 고해상도 카메라가 사용되고, 고해상도 이미지를 실시간 처리하기 위한 이미지 프로세싱 부하는 기하급수적으로 증가하므로 실시간 이미지 프로세싱을 위해 부하를 감소시켜야 한다[2][3].

본 논문은 철판 표면에 발생하는 결함을 검출하는 방법 중 이미지 프로세싱 부하를 총 9단계로 분할하여 독립적인 쓰레드를 통한 철판결함 검출 시스템을 제안하였다. 이 시스템에서 이미지 프로세싱 부하를 감소시키기 위해 이미지 프로세싱 부하를 총 9단계로 분할하였으며, 이들 작업(Task)들은 멀티 독립 쓰레드로 구성하여 이미지를 필터링하였다. 또 검출된 결함을 포함하는 작은 영역(Tile)만을 후순위 이미지 프로세싱 작업으로 전달하고 결함을 포함하는 작은 영역만을 사용하여 이미지프로세싱 작업을 수행한다. 카메라로 촬영된 이미지의 노이즈를 제거하기 위해 2차원 공간 영역 필터링 기법을 사용한다. 또한 실시간 수집되는 이미지의 결함을 검출하기 위해 무결함 기준 이미지를 사용하여 검출을 단순화 하였다.

본 논문에서는 자연 광원을 이용하고 광원의 주파수 특성에 의존하지 않고 이미지 프로세싱 기법만을 사용하여 결함을 검출한다. 이 시스템을 통하여 제철 공정에서 발생하는 철판 결함을 보다 정확하고 정밀하게 측정하는 방법을 제시하였다.

## II. 표면 결함 검출 시스템

제철 공정에서 발생하는 철판의 결함들을 실시간 상에서 정확하게 검출해내는 시스템을 그림 1에 각 장치간의 연결 관계를 나타내고 있다.

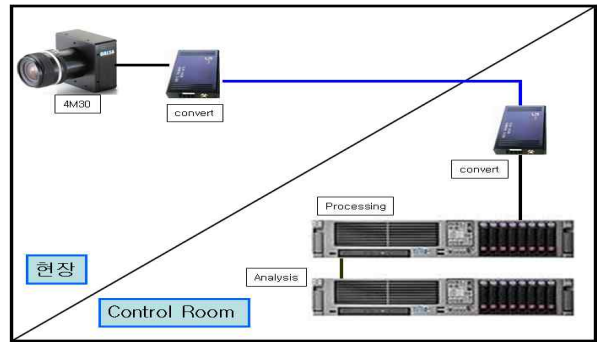


그림 1. 표면결함검출 시스템 구성  
Fig. 1. Configuration of defect on a iron plate

시스템의 소프트웨어 구성에서는 이미지 획득, 철판경계검출, 이미지 위치 이동, 결함검출을 위한 배경이 되는 무결함 기준 이미지, 결함검출, 두 이미지의 결함중첩검사(Defect Verification), 결함 특성값 추출과 같이 7개의 단계로 구성된다[2][3].

### 2.1 시스템 하드웨어 구성

본 논문에서는 정밀한 영상 이미지를 획득하기 위해 영상 획득 장치와 컴퓨터, 광 컨버터의 하드웨어 사양과, 각각의 장치를 사용 하였다. 영상 획득 장치로 Dalsa사의 4M30[4] 모델을 사용하였다. 영상 획득 장치에서 획득된 이미지의 해상도는 2352 × 1728 크기로 이미지 한 장의 용량만 4MB에 달한다. 실시간 이미지 프로세싱에 사용되는 컴퓨터의 상세사양으로 HP에서 나온 DL380 G5 모델을 선정하였다. 이미지 전송장치[5]는CLB-183B로 CL(Camera Link)방식의 케이블을 통해 데이터를 입력받아 LC 연결방식의 광케이블을 통해 원거리에 설치되어 있는 컴퓨터로 데이터를 전송한다. 이미지 취득 장치는 Frame Grabber로 Matrox Solios eA/XA 모델[4]을 사용하였다.

### 2.2 시스템 소프트웨어 구성

#### 2.2.1 작업 단위 분할

결함 검출을 위한 이미지 프로세싱은 총 9 단계로 나누어 처리하는데 각각의 단계는 이미지 획득 단계, 철판 경계검출 단계, 무결함 기준 이미지 생성 단계, 결함을 검출해내는 결함검출 단계, 두 이미지를 이용한 결함중첩 검사 단계, 공간필터링 단계, 특성값 추출 단계, 정보를 DB에 저장하는 단계로 나눈다. 철판경계검출 단계는 이미지 획득 단계에서 길이 방향으로 진행되는 철판의 표

면을 실시간으로 촬영하여 얻어진 이미지를 철판표면영역과 비 철판표면영역으로 구분하기 위해 철판경계검출을 수행한다. 본 논문에서는 경계선 검출은 Canny Edge Detection 알고리즘[6]을 이용하였다. 이 알고리즘의 처리순서는 가우시안필터로 이미지를 부드럽게, 편미분을 이용하여, 기울기의 양과 방향을 계산, 기울기의 크기에 대해 최고치가 아닌 값으로 축소, 링크에지를 찾기 위해 이중 기준 값 알고리즘을 적용한다. 그림 2는 철판경계검출을 수행하기 전의 이미지와 알고리즘을 적용하여 경계를 검출한 이미지이다.

이미지 위치 이동 단계는 경계검출로 찾아진 철관의 끝을 기준위치로 이동시켜주는 작업을 수행한다. 이미지 획득 단계에서 수집된 이미지를 바로 필터링에 사용하기에는 필터링해야하는 영역이 일정하지 못하고, 적용하기에 부가적인 처리를 해야 했다. 그래서 이미지획득, 철판경계검출, 이미지 위치 이동 단계를 통해 필터링에 사용할 이미지 영역을 확정하고 일정한 크기로 이미지를 필터링하는 작업 수행한다. 철판경계검출 단계에서는 필터링영역에 속하는 철판 영역과 비 철판 영역을 구분하는 경계영역을 찾는다. 여기서 검출된 경계를 기준으로 철판 영역의 폭을 고정된 크기로 만들기 위해 폭 방향으로 이미지를 위치 이동 시킨다. 이렇게 이동된 이미지는 이전에 수집된 이미지와 같은 크기의 철판영역을 가진다.

결합검출 단계는 전처리 단계를 통해 얻어진 일정 크기의 철판표면영역 이미지를 이용하여, 철판표면에 결합이 발생했는가를 검출하기 위해서 수행한다. 이 단계는 실시간 수집되는 현재 철판표면영역 이미지와 여러 이미지를 필터링하여 얻어진 무결함 기준 이미지의 차를 구해 결합의 유무를 검출한다. 이 단계의 문제점으로는 철판에 발생한 결합만을 검출하는 것이 아니라 노이즈에 의한 결합(반사광, 부유물)도 같이 검출하기 때문에 결합검출의 정확도를 높이기 위해서 결합중첩검사 단계를 다시 거친다.

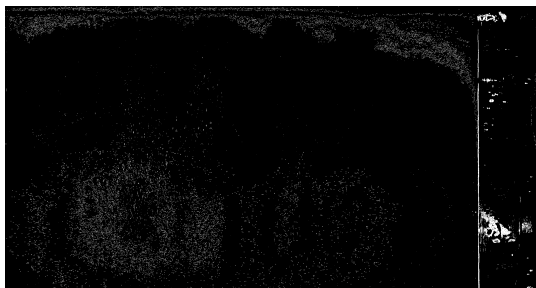


그림 2. 철판경계검출 이미지  
Fig. 2. Image of iron edge detection

## 2.2.2 독립 스레드 구성

이미지 프로세싱 소프트웨어를 구성하는 가장 큰 문제점인 이미지 프로세싱 부하를 해결하기 위해서 본 논문에서는 작업을 단계별로 나누고, 이를 스레드로 구성하여 적절한 부하를 각각의 스레드에 부담함으로써, 이미지 프로세싱에서 오는 부하를 해결하였다. 프로그램의 단계는 총 9단계로 분할하였으며, 이 단계들은 작업의 순서적 단계를 가지고 이미지를 필터링한다.

첫 번째 단계로 실시간 수집되는 철판표면 이미지를 일정한 규격으로 필터링하는 전처리 단계를 거치는데 이 단계에서는 카메라에서 철판표면 이미지를 수집하고, 철판의 결계를 검출하며, 이 경계선을 정해진 위치로 이동시키는 단계를 거친다.

두 번째 단계는 무결함 기준 이미지 단계이다. 본 논문에서 결합검출의 기준으로 무결함 기준 이미지를 사용한다. 무결함 기준 이미지는 결합검출 단계에서 검출의 방법을 단순화하며, 실시간 변화하는 철판표면에 대응할 수 있도록 전처리 단계를 거친 현재 이미지를 사용하여 무결함 기준 이미지를 생성한다.

세 번째 단계에서는 두 번째 단계에서 생성한 무결함 기준 이미지와 전처리 단계를 통해 일정한 규격으로 필터링 된 현재 이미지를 이용하여 결합을 검출한다. 이 검출 단계를 빠르게 처리하기 위해서 시간영역 필터링 기법에 의거하여 이미지에 결합이 가장 먼저 발생하는 OD1만을 검출에 사용한다. OD1은 시간영역 필터링 기법에 기인하여 두 가지 영역으로 구분되는 이미지 영역 중 이미지 상부 구간을 말한다. 이를 통해 고해상도 이미지 필터링 부하를 줄였다.

네 번째 단계는 결합 검출의 정확도를 높이고자 결합을 다시 필터링하여 판단한다. 이는 노이즈가 결합으로 판단되는 것을 막고 검출된 결합의 정확도를 높이고자 필터링하는 것으로 시간영역 필터링 기법에 기인하여 결합이 검출된 이미지와 그 이미지의 다음 이미지 즉 OD1, OD2을 필터링한다. OD2는 OD1과 같이 두 가지 영역으로 구분되는 이미지 영역 중 하부 구간을 말한다.

그림 3은 7가지 단계를 순서적으로 표현한 구성도이다. 이렇게 나누어진 작업은 7개의 스레드로 병렬 처리되며, 전 단계에서 처리한 이미지 데이터를 실시간으로 받아 필터링하도록 구성되었다.

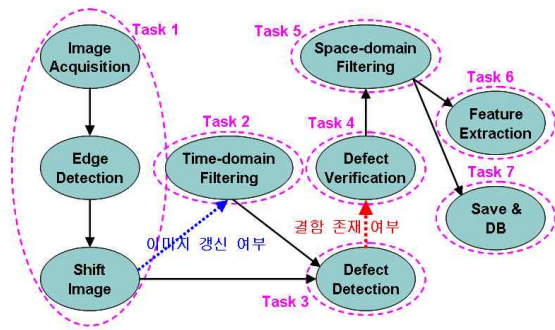


그림 3. 스레드 구성도  
Fig. 3. Thread configuration

### 2.3 시간적 필터링 기법

본 논문에서는 평균 60 ~ 120mpm으로 진행되는 철판을 고성능의 카메라를 사용하여 데이터를 수집한다. 하나의 데이터는 2352 × 1728 크기를 가지며 철판 1mm는 3개의 화소로 구성되며, 하나의 이미지는 길이 방향으로 576mm 크기의 철판을 촬영하게 된다. 이때 진행되는 철판의 표면을 소실구간 없이 획득하고자 1초에 10프레임의 이미지를 수집한다.

길이 방향으로 이동하는 철판의 표면을 실시간 촬영하여 수집되는 철판 표면 이미지는 공정 상황에 따라 이미지 상태가 시시각각 변화하게 된다. 이 변화를 감안하여 이미지를 필터링하기 위해서는 많은 변수와 이미지 결함 검출 기준이 모호해 지는 문제점이 발생한다. 이 문제점을 해결하기 위해서 하나의 통일된 검출 기준을 시간적 측면에서 생성하였다. 그 기준은 실시간 획득되는 이미지를 지속적으로 필터링하여 무결함 기준 이미지를 만드는 것이다. 이 이미지는 지속적으로 갱신되며, 이를 통해 시간에 따라 변화하는 현재 이미지에 적용 한다. 그림 4는 실시간 획득되는 철판표면 상태 이미지를 보여준다.



그림 4. 철판 표면 상태 이미지  
Fig. 4. Image of iron surface

결함검출 단계에서 검출된 결함 이미지는 노이즈에

의한 검출과 결함에 의한 검출로 구분된다. 두 가지 경우의 결함 유/무를 결정하기 위해서 중첩구간에 의해, 결함이 발생한 이미지에 이어 다음 이미지도 결함이 발생했다는 조건을 두어 결함 유무를 판단한다. 이를 판단하기 위해서 사용되는 결함중첩검사 단계는 결함 이미지와 다음 이미지의 중첩구간을 필터링하기 위해서 시간적 필터링 기법을 사용한다.

### III. 무결함 기준 이미지

무결함 기준 이미지란 결함 검출 시스템의 핵심으로 결함을 검출하기 위한 일정한 기준을 만드는 것이다.

무결함 기준 이미지 생성을 위한 전처리 단계였던 이미지 획득, 철판 경계 검출, 이미지 위치 이동 단계를 통해 필터링해야 하는 이미지 구간을 일정한 크기로 정렬함으로써, 이미지에서 소실되는 구간이 발생하지 않도록 하였으며, 철판영역의 화소가 1:1 매칭 되도록 처리하였다. 이와 같은 전처리 과정을 통해 보다 신뢰할 수 있는 무결함 기준 이미지를 생성하였다.

무결함 기준 이미지 생성에 사용되는 시간적 필터링 기법은 두 가지 이유에서 사용된다. 첫 번째, 철판 표면에는 결함으로 오인될 수 있는 철판 표면 패턴이 존재한다. 이 같은 패턴이 존재하는 이미지를 히스토그램을 사용하여 문턱 치를 구하고, 이 값을 기준으로 이진화하면 결함 구간으로 보이는 일정한 값을 획득할 수 있다.

두 번째, 공정 중에 변화하는 철판의 밝기이다. 이 밝기는 시간에 따라 점점 어두워지거나 밝아진다. 이 같은 밝기의 차이가 급격하게 발생할 때 결함으로 오인될 수 있는데 이를 검출하지 않게 이미지를 실시간 반영하여 검출의 문제점을 해결하였다. 그림 5은 무결함 기준 이미지를 만들기 위해 수집한 현재 표면 이미지이며 그림 6은 시간영역 필터링 기법을 사용하여 무결함 기준 이미지를 구성한 이미지이다.

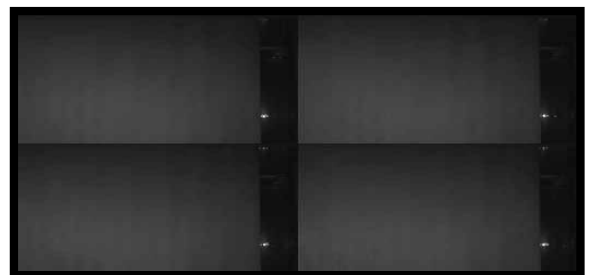


그림 5. 현재 철판 표면 이미지  
Fig. 5. Image of current iron surface



그림 6. 무결함 기준 이미지  
Fig. 6. Image of perfect reference

#### IV. 철판 결함 검출 방법

무결함 기준 이미지를 사용하여 결함을 검출한 이미지의 신뢰도를 높이기 위해 시간영역 필터링 기법, 결함 중첩검사 기법, 공간영역 필터링 기법을 사용하여 노이즈에 의해 검출된 이미지를 검출에서 제외하도록 하였다.

##### 4.1 시간영역 필터링 기법

초당 10프레임 수집된 이미지는 공정속도에 따라 중첩구간 및 신규 이미지구간이 생성된다. 이렇게 생성된 신규 이미지구간의 크기를 이용하여 가장 이상적인 위치에 신규 이미지구간의 크기만큼 고정적으로 필터링하여 결함을 검출하는데 사용한다. 그림 7은 결함이 검출된 철판 표면이미지의 상부 신규 이미지 구간을 정의한 것이다. 그림 7에서 보는바와 같이 철판의 진행속도(mpm)에 의해 생성되는 신규 이미지 구간을 정의하였으며, 크기를 점선으로 표시하였다.



그림 7. 철판 표면 신규 이미지구간  
Fig. 7. New image region of iron surface

이 신규 이미지구간의 크기는 철판의 진행속도 및 이미지 획득 시간을 이용하여 그 크기를 구할 수 있다. 하

지만 공정속도는 일정하지 않고 불규칙적으로 변하므로 이 구간을 예측하기위해서 각 공정 속도에 의해 발생하는 중첩구간의 폭을 측정하여 식으로 전환하였다. 이 중첩구간을 전체 크기에서 빼면 신규 이미지구간을 구할 수 있다. 표 1은 공정 속도에 따라 철판의 중첩구간을 화소 단위로 구성하였다.

표 1에서 철판의 진행속도에 비례하여 속도가 올라갈수록 중첩구간이 줄어드는 것을 확인 할 수 있고, 진행속도가 내려갈수록 중첩 구간이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 8은 표 1을 바탕으로 중첩구간에 대한 그래프를 그렸다. 그림 8에서 철판 진행속도( $x$ )에 따라 중첩구간( $y$ )이 결정되는 식을 확인할 수 있다. 이 식을 사용하여 400 ~ 900 사이의 중첩구간의 값은 표2와 같다. 표 2는 식  $y = -0.5756x + 1756.8$ 을 이용해 나온 결과이다.

표 1 공정 속도에 따른 폭 변화(화소)

	속도 (mpm)×10	현재 위치	이전 위치	중첩화소
1	430	1,200	981	1,509
2	444	908	681	1,501
3	424	854	635	1,509
4	432	1,059	837	1,506
5	545	908	631	1,451
6	545	1,182	908	1,454
7	595	862	539	1,405
8	619	1,126	792	1,394
9	610	836	501	1,393
10	624	894	550	1,384
11	664	803	422	1,347
12	722	867	490	1,351
13	724	1,047	652	1,333
14	712	524	136	1,340
15	861	942	485	1,271

표 2의 결과로 보아 공정 속도에 따른 길이 변화는  $y = -0.5756x + 1756.8$ 에 의한 어느 정도 예측이 가능해 졌다. 해당 식으로 예측된 구간은 결함중첩검사 기법에 반영하여 결함검출에 있어 노이즈 유무를 판별하는 기준으로 사용한다.

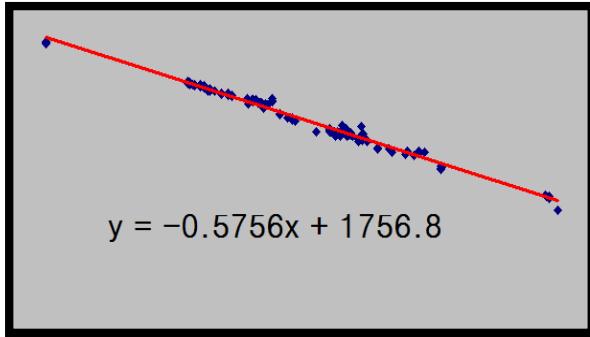


그림 8. 공정속도에 따른 중첩구간의 변화  
 Fig. 8. Variation of overlap region by process velocity

표 2. 수식으로 계산된 중첩구간

공정속도(mpm)×10	중첩화소
400	1526
500	1468
600	1411
700	1353
800	1296
900	1238

#### 4.2 결함중첩검사 기법

결함중첩검사 기법은 결함검출 단계에서 검출한 결함 이미지를 다시 필터링하여 노이즈에 의해 발생한 결함을 제거하는데 사용한다. 이 기법은 시간영역 필터링 기법을 기반으로 상부의 신규 이미지구간과 하부 중첩구간을 기초 연산자를 이용해 필터링하여 노이즈 유무를 판단한다.

결함중첩검사 기법의 한 예를 들어보겠다. 철판의 Y축을 기준으로 0 ~ 500 화소에서 발생한 결함을 판단하는데 있어 노이즈가 아니라면 철판의 주조 속도와 비례하여 다음 이미지의 Y축 기준으로 500 ~ 1000 화소에서 발생할 것이다. 이것을 전제 조건으로 두어 Y축 기준으로 0 ~ 500 화소의 이미지와 다음 이미지의 예측 중첩구간인 Y축을 기준하여 500 ~ 1000 화소의 영역을 분할하여 기초 연산자를 이용해 필터링하고 AND 연산자를 이용해 노이즈의 유무를 판단한다. 그림 4.3은 결함중첩검사 기법을 수행하기 전 결함의 중첩구간 이미지이다. 그림 9의 이미지는 왼쪽에 전 이미지 오른쪽에 후 이미지로 구성되어 있으며, 전 이미지의 상부에서 결함이 발생하여 검출된 것을 확인 하였다. 후 이미지 또한 하부에 결함이 발생한 것을 확인 할 수 있다.

이 두 이미지를 이용하여 결함의 정확성 유무를 검출한다. 그림 10는 결함중첩검사를 수행하여 결함의 노이즈 유무를 확인하는 이미지이다. 그림 10좌측상단에 있는 이미지는 히스토그램을 이용하여 문턱 치를 구하고 이 값으로 이진화한 것이다. 또한 해상도 보증을 위해 팽창 연산자와 침식 연산자를 사용하였다. 팽창 연산자는 결함 구간의 화소를 팽창시키는 연산자이다. 이 연산자를 사용하는 이유로 인접해 있는 결함을 하나의 결함으로 볼 것인가, 두 개의 결함으로 볼 것인가를 두고 하나의 화소 거리를 두는 결함은 하나의 결함으로 본다는 조건을 가지고 팽창 연산자를 사용한다. 침식 연산자는 팽창 연산자에 의해 팽창된 결함을 다시 침식 연산자를 사용하여 본래의 크기로 축소하여 결함의 원형으로 복구하는데 사용한다. 다음 우측상단의 이미지는 중첩구간의 이미지로 상부 이미지에서 생성한 문턱 치를 사용하여 이진화하고 팽창 연산자를 적용하여 인접한 결함을 하나의 결함으로 처리한다. 하지만 상부 이미지와 달리 하부 이미지에서는 침식 연산자를 적용하지 않는다. 그 이유는 상부 이미지와 하부 이미지를 정확히 매칭하기 어렵기 때문에 그 값을 보상하기 위해서 침식 연산자는 적용하지 않는다. 좌측하단의 이미지는 상부 이미지와 하부 이미지를 AND 연산자를 적용하고 결함으로 확정하여 검출한 것이다. 이 검출 방법은 철판의 진행속도에 비례하여 정확한 중첩 구간을 계산하여야 하는 문제점이 있다. 계산에 오차가 생길 경우 결함 정보의 정확도가 떨어진다.

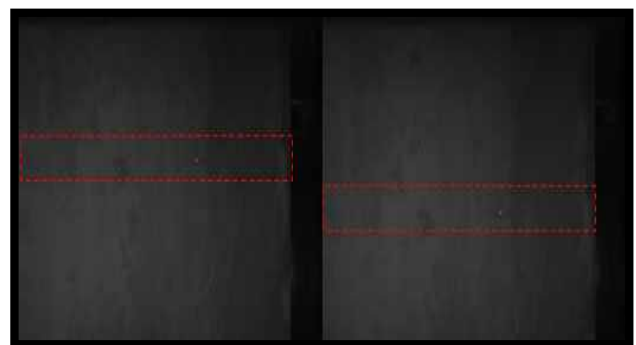


그림 9. 철판 표면 중첩구간 상부 및 하부  
 Fig. 9. Upside and downside of iron surface overlap region

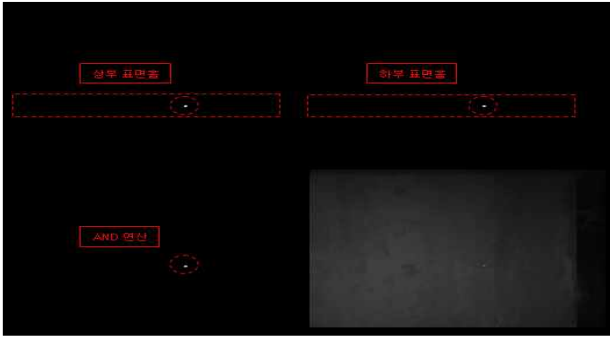


그림 10. 결함중첩검사 수행 이미지  
Fig. 10. Image by defect overlap test

이와 같이 결함중첩검사는 상부 이미지와 하부 이미지를 이용하여 결함을 확정하는데 이 방법은 두 가지 원인에 의해서 발생하는 노이즈를 판단하기에 좋다. 첫 번째 반사광 노이즈가 있다. 철판의 상태는 항상 일정하지 않다. 그중 철판에 굴곡이 발생하면 조명장치의 광원이 일정한 반사각을 유지하지 못하고 이미지의 한 부분에 반사된 조명 노이즈가 발생하게 된다. 그림 11는 철판에 굴곡이 발생하여 철판을 촬영하기 위해 철판을 비추는 조명이 카메라에 반사되어 발생한다. 이 이미지에 결함중첩검사 기법을 적용하면 그림 12과 같이 노이즈가 감소된 것을 확인 할 수 있다.

두 번째 부유물에 의해 발생하는 노이즈가 있다. 이 노이즈는 철판을 냉각하는 과정에서 사용한 냉각수 및 이물질이 철판 표면에 남아 발생하는 노이즈를 말한다. 그림 13은 철판을 냉각하는 과정에서 철판위에 냉각수가 남아 철판의 결함으로 검출된 이미지이다. 이 이미지를 필터링 하면 그림 13에서와 같이 이진화 되며, AND연산 후 그림 14과 같은 결과를 확인 할 수 있었다.

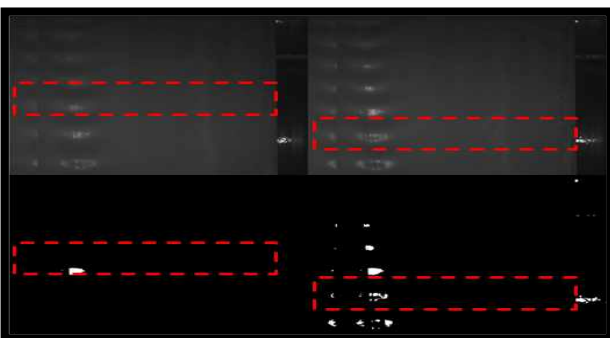


그림 11. 반사광에 의한 노이즈  
Fig. 11. Noise by reflected light



그림 12. 결함중첩검사 결과  
Fig 12. Result of defect overlap test

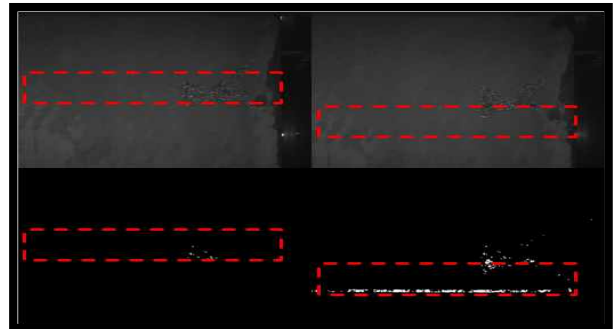


그림 13. 냉각수에 의한 노이즈  
Fig. 13. Noise by cooling water



그림 14. 결함중첩검사 결과  
Fig 14. Result of defect overlap test

#### 4.3 공간영역 필터링 기법

공간영역 필터링 기법이란 결함으로 판정된 영역의 정보를 정확하게 수집 하고자하는 기법으로 결함으로 표시되는 영역은 전체 이미지의 평균 수치 값과 값의 차이가 높은 영역으로 표시된다.

결함이 발생한 이미지의 결함영역을 아래 그림 15와 같이 예를 들어 표현하였다. 그림 15는 0 ~ 9까지의 수치 값으로 구성되어 있고 높은 숫자인 8은 결함을 표시하였다. 그림 15에서와 같이 결함이 분포 하고 있는 (e,4), (e,5), (f,5)의 값은 8로 되어있다. 하지만 그 주위를 둘러싸고 있는 값 중 0 값을 확인 할 수 있다. 하지만 0 값은

물리적으로 차의 속도가 0에서 100으로 갑자기 올라 갈 수 없듯이 이미지의 결함구간 수치 값 또한 8에서 0으로 갑자기 떨어 질수 없다는 가정에서 공간영역 필터링을 적용한다.

	a	b	c	d	e	f	g
1	1	2	0	0	2	1	0
2	1	0	1	0	2	1	0
3	0	1	0	2	2	1	0
4	1	0	1	0	8	0	2
5	1	1	2	4	8	8	2
6	0	0	2	3	0	4	3
7	1	0	1	2	1	3	1

그림 15. 이미지 정보  
Fig 15. Image Information

공간영역 필터링 기법에 사용되는 마스크는 3×3 크기의 마스크를 사용한다. 크기를 3×3으로 정의한 것은 마스크의 크기가 크면 클수록 정확히 결함을 처리하지만 그에 따른 계산이 늘어나 처리 시간의 지연이 발생한다. 이에 따른 계산이 늘어나 처리 시간의 지연이 발생한다. 이에 3×3의 마스크를 사용하며 그 모양은 다음과 같다. 그림 16은 중심에 가중치를 두어 중간 값을 부각시키기 위해 사용하는 마스크이다. 이 마스크를 (e,6)에 적용하여 대표 값을 정의하면, 해당 화소 구간을 블러링 처리한 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 이렇게 처리된 이미지를 결함 특성값 검출을 하여 결함의 특성값을 뽑아내어 결함의 분류에 사용한다[6].

0	1	0
1	3	1
0	1	0

1	1	1
1	4	1
1	1	1

그림 16. 3×3 마스크  
Fig 16. 3×3 Mask

#### 4.4 결함 분류

결함 특성값 추출 단계는 결함 분류를 위한 전처리 단계이며 결함 특성값 추출 단계에서 수집된 특성값으로 결함을 분류한다. 다음은 결함 특성값 추출과 결함 분류에 대하여 설명하였다.

본 논문에서는 결함을 분류하기 위해 결함 특성값 추출 단계를 사용하여 결함의 정보를 수집하도록 하였으며, 특성값은 결함 정보를 정의하는데 이는 기본적인 높이, 너비, 둘레, 위치, 색 등에서부터 결함과 결함의 상대적인 것에까지 다양하게 정의하였다. 이렇게 정의된 특성값을 DB에 저장하여 결함 분류에 사용한다. 결함의 특성을 임의로 정의하여 여러 종류의 결함과 연결하여 그 결과를 확인하고 연관성이 적은 특성값은 제거하는 형식으로 특성값을 만들었다[7]. 본 논문에서는 결함의 분류 방법으로 전처리 단계인 결함 특성값 추출을 통해 결함에 대한 각종 정보를 모으는 한번 수집된 결함 특성값을 사용하여 Trial & Error 방식의 반복학습을 사용해 연결고리를 형성 결함을 분류한다[8].

## V. 결론

본 논문은 절판 표면에 발생하는 결함을 검출하는 방법 중 이미지 프로세싱 부하를 총 9단계로 분할하여 독립적인 쓰레드를 통한 절판결함 검출 시스템을 제안하였다. 기존의 검출방법으로 특정 주파수대의 빛 에너지를 방출하는 광원과 그 광원에 응답하는 수광 소자를 이용한 이미지 프로세싱 기법을 사용하였으나, 본 논문에서는 영상획득 장치에서 수집되는 이미지를 이미지 프로세싱 기법만으로 실시간 결함을 검출하였다.

위와 같이 본 논문은 결함검출 및 검증을 통해 검출의 신뢰도를 높이도록 하였다. 하지만 마지막 단계인 결함 분류 단계는 시간 및 여러 가지 해결과제로 인하여 구현하지 못하였으며, 결함분류의 필요성 및 해결방향만 제시하였다. 그렇지만 결함분류 단계는 결함검출 후 그 결함의 종류를 파악하고 빠른 대응을 위해 꼭 필요한 단계로서 본 시스템에 높은 비중을 차지한다. 이에 결함분류 단계를 Trial & Error방식으로 반복 학습을 통해 특성값과 종류 인식자사이의 연결 고리를 형성하는 방향으로 향후 연구가 진행 되어야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이대성, 주문갑, "쌍롤형 박판 주조공정의 박판 두께 제어," RIST 연구논문, 13권 3호, pp. 290-296, 1999.



- [2] 강동중, 하중은 저, "Visual C++을 이용한 디지털 영상처리," 2003, 사이텍미디어
- [3] 하영호, 남재열, 이응주, 이철희 공역, "디지털 영상처리," 2004, 도서출판 그린
- [4] <http://www.envision.co.kr>
- [5] <http://www.elpostech.co.kr>
- [6] Ramesh Jain, Brian G. Schunck, Rangacher Kasturi, "McGraw-Hill Series in Computer Science Machine Vision," 1995, Computer vision
- [7] HeeSoo Hwang, "Identification of a Gaussian Fuzzy Classifier," International Journal of Control, Automation, and Systems, vol.2, no.1, March, pp. 118-124, 2004
- [8] D. Mauck and R. Kruse, "Obtaining interpretable fuzzy classification rules from medical data," Artificial Intelligence in Medicine, vol.16, pp. 149-169, 1999

### 저자 소개

#### 안 인 석(정회원)

- 제9권 2호 참조
  - 현 위덕대학교 에너지전기공학부 교수
- <주관심분야 : 제어시스템설계, 로보틱스, 임베디드시스템>

#### 최 규 석(중신회원)

- 제9권 2호 참조
  - 현 청운대학교 컴퓨터학과 교수
- <주관심분야 : 인공지능, 이동통신, ITS, 이동컴퓨팅>

#### 김 성 용(정회원)



- 1988년 경북대(전자공학과)공학사
- 1990년 경북대(전자공학과)공학석사
- 1994년 경북대(전자공학과)공학박사
- 1996년~현재 위덕대학교 컴퓨터공학부 교수.
- 2000년~현재 (주)에인테크놀로지 대표이사

<주관심분야 : 디지털 영상처리, 철강공정자동화>