

영상처리를 이용한 용선시편의 표면결함 검사방법

안 현 식,* 정 규 원,* 김 정 하**

Surface Defect Inspection Method of Iron Samples using Image Processing

H. S. Ahn,* K. W. Jeong,* J. H. Kim**

ABSTRACT

For producing iron or steel products with good quality, the concentration of the material components should be analyzed quickly with high reliability using XRF(Fluorescent X-Ray Spectrometer). Since the analysis results are much dependent upon the surface condition, the samples have to be prepared to have good test condition. This study presents an image processing system for inspecting the surface condition of the iron test sample. In order to use the computer vision system, we need to develop a lighting device and image processing algorithm. For the adequate lighting device of inspection system, the indirect lighting device is contrived to cut the external light and provide uniform, stable and cold light. The image processing algorithm is aimed to reduce inspection time and to get similar analyzing results to those of the experienced operators. At first, the image processing algorithm checks whether the surface of the iron sample is ground well or not. Then, the defects: hole or dig are counted and surface condition is evaluated. In addition, the algorithm gives the reliability of the analyzing results in order to help operator's decision.

Key Words : Metal sample(금속시편), Iron sample(용선시편), XRF(X 선 형광분석기), Lighting device(조명장치), Defect detection(결함검출), Image Processing algorithm(영상처리방법)

1. 서 론

최근 영상처리방법을 응용한 비전 시스템이 공장자동

화에 많이 도입되고 있다. 대부분의 시스템이 CCD 카메라로 얻은 영상을 이진화 하여 고속처리하는 기법을 사용하여 고속 대량으로 생산되는 공장 라인에서 상표

* 산업과학기술연구소 로봇연구팀

** 국민대학교 자동차공학과

의 부착여부, 부품파손 또는 크기 검사등 사람이 하기는 단순 반복적인 작업에서부터 로봇트 시각 시스템 등 비교적 복잡한 경우까지 그 종류가 다양하다. 철광석등의 원료를 용해시켜 스프라브등의 중간제품과 열연, 냉연 강판등을 생산하는 제철공장에서도 제품의 품질을 제어하기 위하여 공정중에 시료를 채취하여 이의 성분을 분석하고, 그 결과를 생산 공정에 반영하고 있다.¹⁻⁶⁾

이를 위하여 용선(molten iron) 시편은 주로 X-선 형광분석기(Fluorescent X-Ray Spectrometer)를 이용하고, 용강(molten steel) 시편은 EVS(Vacuum Emission Spectrometer)를 이용하여 성분을 분석하고 있다. 그러나 시편의 채취및 운반과정에서 슬라그등이 시편의 외부 표면에 부착되어 있으므로, 메쉬 40#의 사포가 장착된 벨트샌더(belt sander)를 이용하여 표면을 깨끗하게 연마하며, 이때의 표면은 일정한 거칠기를 갖게 된다. 그러나 시편의 내부에는 시편 채취과정에 혼입된 불순물, 가스 또는 공기등으로 인하여 공동 또는 흠집등이 존재하는데, 이들은 XRF의 분석결과에 좋지 않은 영향을 준다. 또한 이와 같은 결함이 많을 경우에는 새로운 시편으로 다시 검사를 하여야 하는데, 많은 시간을 요구하므로 제품생산에 영향을 끼친다. 따라서 정확한 분석결과를 얻기 위하여 시편의 표면 상태를 검사하여야 한다.³⁾ 그러나 참고문헌 (3~6)들에서는 시스템의 자동화에 중점을 두었으나, 시편표면상태를 검사하는 방법은 연구되어 있지 않다. 본 연구에서는 이와 같은 시편의 표면상태를 검사하기 위하여 영상처리 시스템을 구성하고 영상처리기법을 개발하였다. 벨트샌더에 의한 연마과정중에 시편표면에 연마방향으로 일정한 거칠기를 갖는 요철이 생기며 또한 시편이 정반사율이 큰 금속이므로 조명의 상태가 영상처리에 매우 큰 영향을 준다.⁷⁻¹⁰⁾ 따라서 시편표면에 적절한 조명을 하기 위한 특수한 조명장치를 구성하였다. 여기에서 개발된 조명장치를 사용하였을때 시편표면의 영상은 쉽게 이진화 될 수 있다. 이진화 영상으로부터 영역을 찾는 방법들은 참고문헌들 (12~14)에 개발되어 있다. 그러나 이들의 방법은 일반적으로 런length-coding) 방법들을 사용하여 영역의 분리, 합병등을 하고 있으며, 처리시간이 많이 들고 있다. 그러나 결함 인식을 위한 영상처리 알고리즘은 시편에 대한 분석결과를 얻기 까지 걸리는 시간을 단축할수록 전체공정에 유리하므로, 영상을 단 한번 주사하면서 영역에 대한 세그먼트를 추출하여 처리함으로써, 가능한 한 시간

을 단축하는 방향으로 이루어져 있다.

또한 결함이 있는 시편의 경우에도 제조 공정시간을 단축하기 위하여, 일단 분석한 후 결함의 분포에 따라 분석결과를 참고 할수 있도록 하는 분석결과 신뢰도를 기기 운전원의 경험을 근거로하여 제안하였다.

2. 시스템 구성

2.1 표면검사 시스템

용선시편의 표면 결함검사에는 정확성과 함께 분석시간을 단축하는 것이 요구되므로, 외부 환경과 H/W 시스템을 최적의 조건으로 구성하고 가능한한 알고리즘을 단순화 하여 수행시간을 단축해야한다. Fig.1에 이를

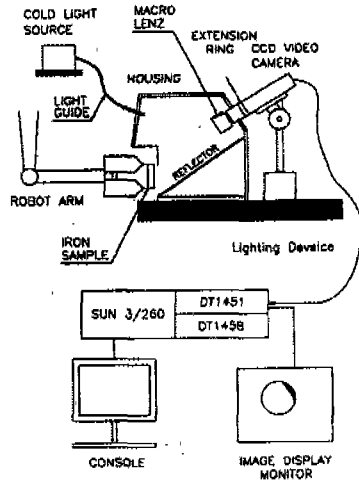


Fig. 1 Surface Inspection System for Iron Samples

Table 1 Surface Inspection System Hardware

Component	Model and Specification	
Computer	SUN 3/260.	
Image Grabber	DT 1451/1458	
Camera	SONY XC-77	
Light Source	Hoya-Schott HL-100R	
	Dichroic Mirror Halogen Lamp	
Light Guide	HOYA-SCHOTT FGS6S500	
	Aperature Ang.	68°
	Bundle Dia.	φ5.7mm
	Light Intensity at 100mm from guide end	22,000Lx

위하여 구성된 영상처리 시스템의 전체적인 구성을 보였으며, Table 1에 시스템 구성에 사용된 하드웨어를 보였다. 로봇이 용선시편을 벨트샌더에서 표면을 연마하고 난 후, 90° 회전하여 영상입력장치 앞에 위치 시키면, CCD 카메라를 통하여 용선시편의 표면영상이 영상 보드에 의하여 컴퓨터에 입력된다.

본 연구에서 주컴퓨터는 SUN 3/260을 이용하였으며, 여기에 영상획득과 영상처리기능을 실시간으로 처리하기 위하여 Data Translation 회사의 영상처리 보드인 DT1451과 DT1458을 사용하였다. 이로써 하나의 화면이 480×512 화소를 갖도록 하였다. 금속시편의 표면은 흑백 영상으로 충분히 인식할 수 있으므로 흑백 CCD 카메라와 NTSC 흑백 모니터를 이용한다.

2.2 시편영상입력장치

본 연구에서 대상이된 시편의 크기가 직경 30mm 이하이며, 이때의 결함으로 간주되는 최소결함의 크기가 0.2mm이다. 또한 하나의 영상을 480×512의 크기로 디지털화 하므로 여기에 적합하도록 카메라, 렌즈, 시편의 위치등을 결정하였다. 성분분석을 완벽하게 하기 위해서는 표면의 결함이 없는 것이 바람직하나, 시편의 조제과정에서 불가피하게 결함이 발생되고 있다. 따라서 분석작업에는 경험적으로 그 결함의 길이가 0.2mm인 것을 최소의 결함이라고 간주한다. 따라서 영상처리 시스템은 최소의 결함이 4~5개의 화소가 되도록 하였다. 시편이 크기가 직경 30mm 이므로 이 영상을 하나의 프레임 즉 480×512(NTSC) 화면에 포함되도록 할 때 한 화소는 0.05mm에 해당하므로 충분히 흠을 인식할 수 있다. 이와 같이 하기 위해서는 표준렌즈를 사용할 때보다 배율이 상당히 커져야 한다. 이와같은 배율을 얻기 위하여 일반적으로 보조 렌즈, 접사링 및 매크로 렌즈를 이용하는 방법등이 있다. 보조렌즈를 표준렌즈 앞에 부착하면 원하는 배율을 얻을 수 있는데 디옵터(diopter)가 높으면 선명도가 약해지는 단점이 있다. 표준렌즈와 카메라 몸체 사이에 접사링을 부착하는 방법은 밀접한 거리에 효과적이거나 역시 해상도가 떨어지고 접사 거리의 미소한 변동에도 배율의 변화가 심하여 적용하기에 적절하지 않다. 본 연구에서는 매크로 렌즈를 이용하였는데 짧은 초점거리에서 선명함이 떨어지는 것을 방지하도록 제작이 되어져 있다. 따라서 비교적 양호한 해상도를 얻을 수 있으며, 피사체인 시편표면과 190mm 정도의 적절한 거리에서 영상을 얻을 수 있어

서 기타 주변장비와 함께 설치하는데 용이하다. 매크로 렌즈는 초점거리 45mm, F 수 3.2인 SONY사 매크로 렌즈를 이용하였다. 여기에 접사 50~60mm 정도를 위해 별도의 접사링을 제작하여 사용하였으며, 역광을 방지하기 위하여 렌즈후드를 사용하였다. (Fig.1 참조)

영상처리 기법을 공장 자동화등 현장에 응용하기 위한 vision 시스템을 구성할 경우 조명이 매우 중요한 부분을 차지한다.^(7~10) 디지털 영상 데이터는 256단계의 밝기값을 가지고 있으므로 사람의 눈보다 외부 조명의 조도에 대하여 훨씬 민감하다. 또한 컴퓨터는 인간과 같은 착시 현상이 없으며, 프레임 그래버 (frame grabber)는 초당 30 프레임의 실시간으로 영상을 잡기 때문에, 일상생활에 사용되는 형광등이나 백열등으로는 균등한 조명을 줄 수가 없다. 더우기 패턴 인식중에서 영역분할(segmentation)이 여전히 어려운 문제점으로 대두되고 있으므로 잘못된 조명이 물체에 투사되었을 경우 생기는 잡음등을 알고리즘적으로 처리 하려고 하면 많은 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 시편 표면에 최적의 조명을 비출수 있는 장치를 구성하여 보다 정확히 흠을 인식하도록 하였다. 조명의 형태를 배광기법에 따라 분류하면 크게 직접조명, 전반 확산 조명, 간접조명으로 구분된다.⁽¹¹⁾

직접조명은 발산광속의 거의 대부분(90~100%)을 물체를 향하게 하는 방식이다. 영상처리시스템 내에서 직접조명 방식이란 광원을 물체에 직접 주사하고 CCD 카메라로서 영상을 획득하는 것을 말하는데, 공장자동화등 비전기법이 적용되는 현장에 많이 사용되고 있다.^(7,8,10) 즉, 경면반사표면을 갖는 물체에 직접조명을 비추어 발생된 영상을 이용하여 대상물체의 3차원 형태를 인식하는 경우에 효과적으로 사용하고 있다. 그러나 용선시편은 금속표면이므로 빛이 정반사하는 비율이 크고, 찾고자 하는 결함은 넓은 범위에 분포하므로 많은 문제점이 발생한다. 즉 시편 표면중 광원과 가까운 부분은 먼 부분에 비해 조도가 높으므로 명암도가 높게 나타나는 반면, 먼 부분은 명암도가 낮게 되어 편차가 심하게 된다. 또한 시편의 영상은 시편을 벨트샌더에 연마할 때 생긴 미세 끌의 방향과 수직으로 광원의 직접 반사가 띠처럼 나타나게 된다. 따라서 결함부분을 구별하는데 많은 어려움이 따른다.

전반 확산 조명은 광원을 반투명 물체로 산란시킨 상태에서 물체에 주사함으로써 고른 조명을 얻을 수 있고 휘도를 감소시킬 수 있는 기법이다. 일반조명에서 반투명

Table-2 Light Reflection Property of Materials(%)
[11]

Material	Reflection ratio		Transmission ratio		Absorption
	Specular	Diffuse	Specular	Diffuse	
Glass (2 ~ 5mm)	8 ~ 10		80 ~ 90		
Kent Paper		75			25
Korean Paper		50		45	5
Silver	92				8
Glass Mirror	82 ~ 88				12 ~ 18
Copper	55 ~ 60				40 ~ 45
Wood		40 ~ 46			40 ~ 60

물체는 젓빛유리나 플라스틱등이 외구형으로 광원을 둘러싸는 형태이다. 이 방법은 광원을 산란시키는 필터를 사용하는 방법등이 있으나, 적절한 필터를 제작하는 데 많은 노력이 든다. 간접조명 방법은 거의 모든 (90~100%)광속을 천장이나 반사판에 반사된 후 물체에 주사하게 하는 방식으로서, 경면반사 표면을 갖는 물체에 대해서도 영상처리에 적합한 영상을 얻을 수 있다.¹⁰⁾ 따라서 정반사 하는 성질이 크고, 표면 전체에 고른 조명을 해야되는 본 연구에 가장 적합한 방식으로 판단되어 이 방식을 사용한다. 영상처리 시스템에 적용될 경우 반사판은 조명 목적에 따라 평판, 반구등 여러가지 형태가 될 수 있다. 여기서 반사판의 재질이 중요한데 그 종류에 따라 반사율, 투과율, 산란정도가 다르기 때문이다. 따라서 이 방식은 반사판은 선택이 중요하며, 이와 더불어 반사판의 설치 방법이 많은 영향을 준다. Table 2는 각 재료의 반사율과 투과율을 보여주고 있다.

용선시편 표면에 적절한 조명을 주사하기 위하여 Fig.1에 보인것과 같은 간접조명 방식을 응용한 조명장치를 개발 하였다. 반사판은 광원을 가능한한 흡수하지 않고 반사하되, 정반사되지 않고 전체가 산란되는 재료가 바람직하므로 흡수율 25%, 산란 반사율 75%인 쉘트지가 표면에 접착되어 있다. 반사판이 35° 정도 기울어진 이유는 수직으로 세웠을 경우 반사판에 주사된 광원의 일부분 정반사된 빛이 시편표면에 직접 주사되는 것을 막기위한 것이다. 카메라는 시편표면 중심 선상에 위치 시킬 경우 시편 표면에 카메라가 반사되어 나타나기 때문에 36°정도 각도를 두는 것이 타당하다. 이 시스템이 설치되는 공간 내부에는 이미 일정량의 조도의 조명이 있기 때문에 외부조명을 차단할 필요가 있다. 이를 위하여 용선시편, CCD카메라, 그리고 광원이 외



Fig. 2 Photo of Surface Image Grabbing System

부조명 차단용 하우징(housing)을 중심으로 위치하고 광원은 반사판을 거친후 시편 표면에 빛을 주사하게 된다. 그리고 카메라 렌즈 앞에는 광원이 역광으로 렌즈에 닿는것을 방지하도록 하기 위한 역광 차단용 렌즈후드가 부착되어 있다. 시편표면에 주사되는 광원이 가져야 할 특징으로는 높은 주파수를 가지고 있어서 안정된 입력영상을 얻을 수 있어야 하고, 시편표면에 균등한 빛이 주사 되어야 하며 카메라 등을 보호해야 하므로 열이 거의 나지 않아야 한다. 본연구에서는 위의 특징을 가지고있는 저온광원(cold light source)을 이용하였다. 이 조명장치는 영상처리 시스템에 널리 이용되는 방법으로서 할로젠 램프를 광원으로 하며, 안정화전원을 사용하기 때문에 안정된 광원을 공급할 수 있으며, 다이크로익 거울(dichroic mirror)에 의해 집광된 후 열 흡수 필터(heat absorbing filter)를 거친후 광섬유를 통하여 주사됨으로써, 시편표면에 열이 거의 발생하지 않는 장점을 가지고 있다. Fig.2는 제안한 조명장치의 실제 모습을 보여주고 있다.

3. 영상 처리 알고리즘

Fig. 3은 본 연구에서 제안한 시편 표면 결합인식 방법의 전체적인 흐름이다. 용선시편의 영상이 CCD 카메라로부터 입력되면 문턱값 (threshold level)을 적용하여 회색영상을 이치화 영상으로 변환한다. 이 영상에는 잡음이 섞여 있으므로 잡음에 해당하는 고립된 화소(salt and pepper)들을 제거한다. 이와같이 준비된 영상으로부터 표면결합에 해당하는 어두운 영역들을 찾아낸다. 이 과정은 다음절에 자세히 설명한다. 이런 결합영역들에 대하여 그 갯수와 각각의 크기등에 대한 자료를 얻고, 그 용선시편이 성분분석에 합당한지, 분석 결과에 대하여 어느정도의 신뢰도를 줄 것인지를 결정

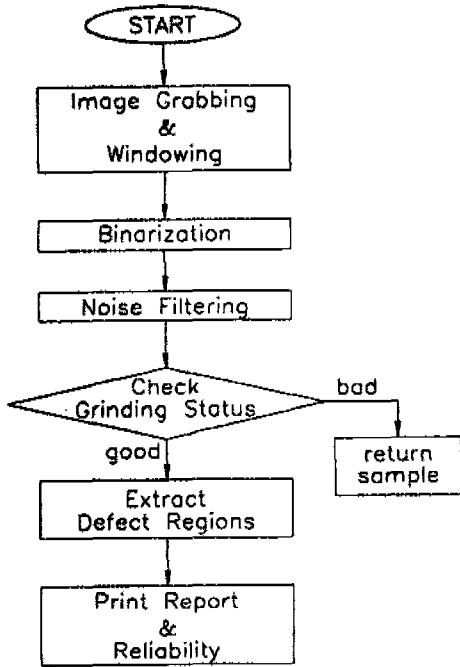
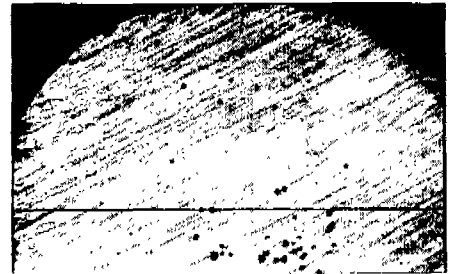


Fig. 3 Process Flow for Surface Inspection

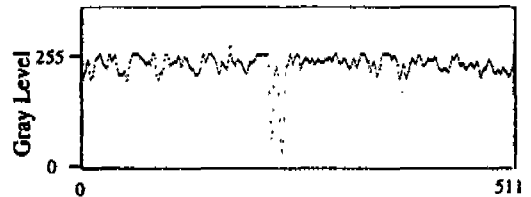
한다. 이러한 과정에 대하여 자세히 설명한다.

3.1 선행처리

앞절에서 설명한 것과 같은 영상입력장치를 통하여 입력된 영상데이터는 CCD카메라의 조리개의 개도, 조명의 각도나 조도에 따라 민감하게 변하므로, 이러한 조건들과 문턱값을 적절히 조절하여 모든 시편에 대하여 표면 결함이 잘 구별될수 있도록 하여야 한다. 본 논문에서는 여러가지 시편에 대하여 실험적으로 이들을 결정하였으며, 문턱값도 고정된 값을 사용하였다. Fig. 4에 대표적인 경우의 용선시편에 대하여 입력영상의 하나의 행(row)에 대하여 명암도를 보였다. 이 그림에서 보는 바와 같이 결함이 있는 부분은 검게 나타나고, 나머지 부분은 높은 명암도로 희게 나타난다. 앞에서 제안한 조명장치에 의해 균일하고, 안정된 조명을 제공하므로 영상분할의 기본적 방법인 문턱화(thresholding)에 의해 문턱값보다 낮은 명암도를 갖는 화소는 0으로, 그 보다 높을 경우는 1로 구분하여 흑백영상을 만든다. 이와 같은 과정으로 만들어진 흑백영상 데이터에는 시스템의 전기적인 잡음등으로 인하여 잡음이 존재한다. 앞에서 언급한 바와 같이 최소결함은 4~5개



(a) Gray Level Image



(b) Typical Gray Level Profile

Fig. 4 Typical Gray Level Profile of Surface Image

의 화소에 해당하므로 1~2 개의 고립된 화소들을 저역 통과필터(low-pass filter)를 사용하여 제거하는 스무딩(smoothing) 과정을 거친다. 이 필터는 3x3의 요소를 갖는 커널로서, 각 요소가 모두 1의 값을 갖는다. 이를 입력영상에 대하여 컨벌루션(convolution)을 하여 잡음들을 제거한다. 이와같이 잡음이 제거된 영상데이터에 대하여 성분분석에 필요한 부분만 추출하기 위하여 원형의 창을 통과시킨다. 이 원형의 창은 용선 시편의 모양이나 분석기의 특징에 따라 임의로 줄 수 있는데 시편 표면의 전체 크기 보다 작아야 하고 분석 영역보다는 크게 주어야 한다. 이 원형의 창은 원의 내부는 0, 원의 외부는 1이며, 전체 크기는 480x512로 시편영상과 같다. 이를 버퍼프레임에 입력시켜 두고, 영상을 입력할 때 프레임 그래버가 하드웨어적으로 시편영상과 논리합(OR)을 수행한다. 이와 같이하여 원형의 내부는 시편의 영상이, 외부는 검은 영역으로 처리된 영상을 얻는다.

3.2 연마상태 판별

용선시편의 준비과정중 시편이 완전히 연마되지 않으면 앞에서 얻은 흑백영상은 연마되지 않은 부분과 실제 결함의 구분이 불가능하다. 따라서 결함을 추출하기 전에 연마상태를 판별하여 완전히 연마 되었으면 다음 단

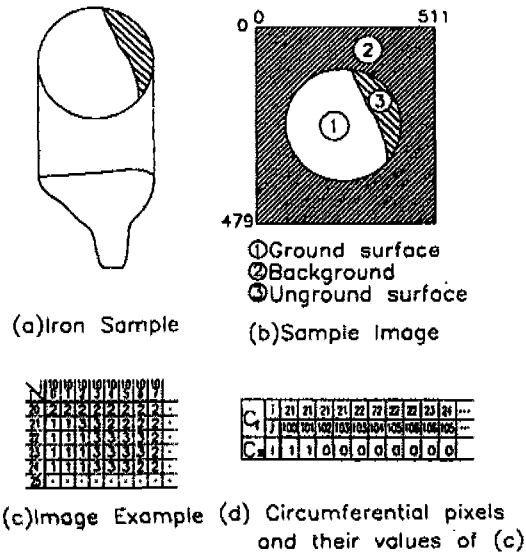


Fig. 5 Inspection Scheme of Grinding Status

계로 넘어가고, 그렇지 않으면 재 연마하여야 한다. 본 논문에서는 앞 절에서 언급한 특성을 이용하여 시편 표면중에 분석영역의 원주부분에 있는 화소만을 탐색하여 실시간으로 연마상태를 판별해 내는 알고리즘을 제안하였다. 시편의 영상은 Fig.5 에서 보는 바와 같이 연마영역 ①, 배경영역 ② 와 미연마영역 ③으로 구분할 수 있다. 시편 표면의 단면은 Fig.5 (a)와 같이 연마가 용이하도록 시편의 중앙부분이 볼록하도록 주형을 만들므로 이를 편평한 벨트샌더에 의하여 연마할때 연마가 불충분한 부분인 미연마영역 ③의 화소들의 명암도는 0으로 된다. 또한 앞에서 언급한 배경영역 ②는 명암도가 0이며, 그 위치는 미리 알려져 있다. 따라서 미연마영역 ③을 찾기위한 과정은 다음과 같다.

(1) 배경영역 ②의 원주상의 화소의 안쪽으로 인접한 화소들의 위치를 갖고 있는 2×1의 행렬 C_i 을 만든다 (Fig.5 (c, d)).

(2) C_i 의 각각의 화소의 명암도가 1 또는 0 인가를 검사하여 C_i 에 기록한다 (Fig.5 (d)).

(3) C_i 의 각각의 요소는 연마영역 ①은 1, 미연마영역 ③은 0 이므로, 0이 연속하여 일정한 갯수 n_x 이상 나타나면, 그 부분이 미연마된 것으로 판단한다.

본 연구의 실험에서는 $n_x = 15$, 즉 실제 시편 표면에서 약 0.7mm 이상이면 연마가 불량하다고 판단한다. 이와 같은 방법으로 연마가 불충분한 영역의 위치

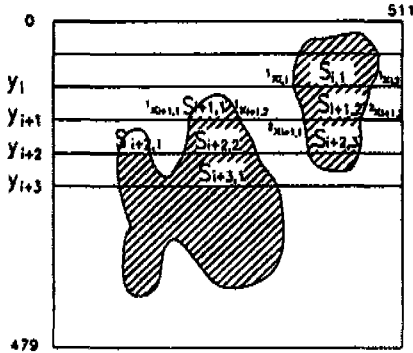
및 크기를 알 수 있으므로 재연마를 효과적으로 할 수 있다.

3.3 영역 분할

이진화 과정을 통하여 얻은 흑백영상으로부터 표면결함에 해당하는 검은 영역들을 인식하여 그들의 위치와 크기 등의 정보를 추출해야 한다. 이를 위하여 대부분의 방법은 영상에 소벨 연산자 (Sobel operator) 등을 적용하여 윤곽선을 검출하고, 이로부터 각각의 영역을 검출하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이들의 방법은 윤곽선 연산자를 전체 영상데이터에 적용하고, 윤곽선을 세선화 해야하며, 이를 이용하여 영역을 검출하는 과정을 거치기 때문에 실행시간이 상당히 걸리는 점이 있다. 그러나 본 연구에서는 실행시간이 전체공정에 큰 영향을 주기 때문에 실행시간을 최소화 하는데 중점을 두고 있으며, 또한 앞에서 제안한 조명장치에 의해 균일하고, 안정된 영상을 제공하므로 영역분할의 기본적인 방법인 이진화에 의해 표면결함이 있는 부분을 구분해 낼 수 있다. 그러므로 이와같은 상황에 적합한 영역분할기법을 개발하여 사용하였다.

이 기법은 흑백영상을 행방향(row direction) 즉 x 축으로 탐색하면서 서로 연결된 결합화소의 시작점과 끝점을 하나의 세그먼트(segment)들로 만들고, 이들이 이웃하는 행에서 추출한 세그먼트들과의 중첩관계들을 추리하여 결함에 해당되는 영역을 추출하는 방법으로, Fig.6을 이용하여 설명하면 다음과 같으며, Fig.7에 개략적인 흐름을 보였다.

Fig.6 (a)와 같은 흑백영상에서 각 행(row) y_i 를 따라 가면서 각각의 화소의 명암도를 검사하여, 연속적으로 0을 가진 세그먼트 (segment) 의 시작지점과 끝지점을 알아낼수 있으며, 이것을 하나의 데이터화 시키면 $(y_i, {}^k x_1, {}^k x_2)$ 로 표현할 수 있다 (Fig.6 (b)). 여기에서 k 는 그 행에서 찾어진 세그먼트(segment) 들의 순서이며, ${}^k x_1, {}^k x_2$ 들은 각세그먼트의 시작지점과 끝지점의 좌표를 나타낸다. 이러한 방법으로 모든 행을 탐색하여 데이터를 만들어둔다. 여기서 주목할 것은 더 이상 각 화소를 탐색할 필요가 없으므로, 고속의 영상처리가 가능하다는 것이다. 다음은 앞에서 찾은 모든 세그먼트들의 연결관계를 검사하는 것이다. 즉, 행번호 i 를 증가시키면서 이웃하는 다음 행에서 구한 세그먼트들 $(y_{i+1}, {}^i x_1, {}^i x_2)$ 와 비교하여 중첩 여부를 검사한다. 즉 행 i 의 k 번째 세그먼트를 S_{ik} 라고 하면



(a) Defect Region Example

segment	row i
S_1	$(y_i, {}^1x_{i,1}, {}^1x_{i,2}, \dots)$
S_2	
S_3	
segment	row $i + 1$
S_1	$(y_{i+1}, {}^1x_{i+1,1}, {}^1x_{i+1,2}, \dots)$
S_2	$(y_{i+1}, {}^2x_{i+1,1}, {}^2x_{i+1,2}, \dots)$
S_3	
segment	row $i + 2$
S_1	$(y_{i+2}, {}^1x_{i+2,1}, {}^1x_{i+2,2}, \dots)$
S_2	$(y_{i+2}, {}^2x_{i+2,1}, {}^2x_{i+2,2}, \dots)$
S_3	$(y_{i+2}, {}^3x_{i+2,1}, {}^3x_{i+2,2}, \dots)$
segment	row $i + 3$
S_1	$(y_{i+3}, {}^1x_{i+3,1}, {}^1x_{i+3,2}, \dots)$
S_2	$(y_{i+3}, {}^2x_{i+3,1}, {}^2x_{i+3,2}, \dots)$
S_3	

(b) Segment Data of (a) in Part

Head[1]	Head[2]
$S_{i,1}$	$S_{i+1,1}$
$S_{i+1,2}$	$S_{i+2,1}$
$S_{i+2,3}$	$S_{i+2,2}$

(c) Linked List of (a) in Part

Fig. 6 Defect Region Extraction Scheme

$$S_{ki} = \{x \mid x_i \leq x \leq x_2\} \text{ for segment } k \text{ and row } i \quad (1)$$

이 된다. 이들에 대하여

$$S_{ki} \cap S_{k'} = \phi, \quad l = 1, \dots, \\ i' = i + 1, i + 2, \dots, 479. \quad (2)$$

인지를 검사하여 TRUE 이면, 서로 다른 영역에 속한 세그먼트이며, FALSE이면 S_{ki} 와 같은 영역에 속한 세그먼트이다. 즉, 각 세그먼트는 $(y_i, {}^kx_1, {}^kx_2, r, n_{scr})$ 의 형태가 되며, 여기에서 r 은 영역번호이며, n_{scr} 는 동일한 영역 r 에 속하며, 이 세그먼트에 이어지는 것으로서 다음 행에 속한 세그먼트에 대한 포인터이다. 이때 r 이 같은, 즉 같은 영역에 속하는 세그먼트들을 모으기 위하여 $head[r]$ 에 속하는 세그먼트들에 해당하는 포인터들을 기록한다 (Fig.6 (c) 참조). 이때 더 이상의 연결된 세그먼트가 없는 경우에는 이 포인터가 널(null)을 가리키게 한다. 영역의 형태에 따라서 Fig.6 (a)의 $S_{i+2,1}$ 과 $S_{i+2,2}$ 등과 같이 두개의 서로 다른 영역으로 간주되던 영역이 하나의 영역으로 합쳐질 경우가 있다. 즉, 행 y_{i-1} 까지 다른 영역으로 처리되다가 행 y_i 에서 두 영역은 같은 영역으로 판별되는 경우이다. 이 경우 만일 두 영역이 $r-1$ 과 r 이라고 하면 $head[r-1]$ 의 제일 끝의 세그먼트 데이터의 포인터 n_{scr} 가 널이 아닌 $head[r]$ 의 다음을 가리키게 한다. 이상에서 설명한 바와 같이 각각의 세그먼트 데이터는 영역의 윤곽선들에 대한 좌표를 갖고 있으며, 세그먼트의 갯수도 쉽게 알 수 있다. 따라서 이를 이용하면 영역에 외접하는 최소 사각형인 MBR (Minimum Boundary Rectangle), 영역중심위치, 윤곽선좌표등을 쉽게 알아 낼 수 있다. 영역을 추출하기 위하여 걸리는 시간은 각 행을 탐색하면서 세그먼트를 추출하는 데 필요한 시간과, 세그먼트들의 중첩관계를 검사하는 데 소요되는 시간이다. 세그먼트의 중첩을 검사하는 시간은 한 행당 평균 세그먼트의 갯수가 M 이고, 행의 수가 L 개라고 하면 총 비교횟수는 LM^2 보다 적게 된다. 앞서 고립화소 (salt and pepper) 잡음을 제거 했기 때문에, 본 연구의 경우 M 은 크지 않으며, 처리시간이 짧다.

3.4 적합성 판별

용선 시편은 XRF를 사용하여 분석하는데 시편표면의 중심에서 직경 25mm 정도의 원에 해당하는 범위내

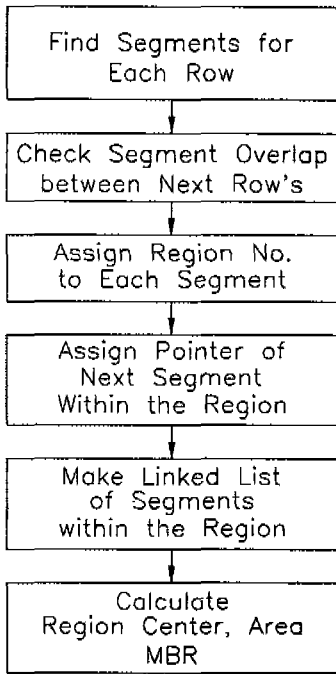


Fig. 7 Flow of Defect Region Extraction Algorithm

에 X-ray를 주사하여 분석하므로, 여기에 해당하는 영역내에서 결함의 유무를 판단하면 된다. 영역분할된 용선시편의 영상에서 결함화소에 해당하는 명암도가 0인 곳이 전혀 없을 경우 결함이 존재하지 않는 것이므로 XRF의 분석결과를 100% 신뢰할 수 있다. 그러나 명암도가 0인 화소가 있을 경우, 하나의 화소만 존재할 경우도 폐기 시키느냐의 문제가 있다. 그러나 시편제조는 생산공정중에 이루어지며, 또한 분석실까지의 이송에도 많은 시간이 소요되므로 생산공정의 원활한 진행을 위해서, 불충분한 시편이라 하더라도 일단 분석하고 그 결과를 공정운영에 참고한다. 따라서 이를 위하여 본 논문에서는 불량한 시편이라 하더라도 시편표면 결함의 분포에 따라 분석결과를 참조했을 경우 얼마나 신뢰할 수 있는냐를 나타내는 신뢰도 개념을 도입하였으며, 이를 수치화 하기 위하여 식 (3)을 제안하였다.

$$\begin{aligned}
 DV &= NDP + NDR \times \alpha \\
 R(\%) &= (1 - DV / MDV) \times 100 \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기에서 NDP (No. of Defect Pixel)는 전체 분석영역 내의 결함화소의 갯수이며, NDR(No. of Defect Region)은 결함영역의 갯수이다. MDV

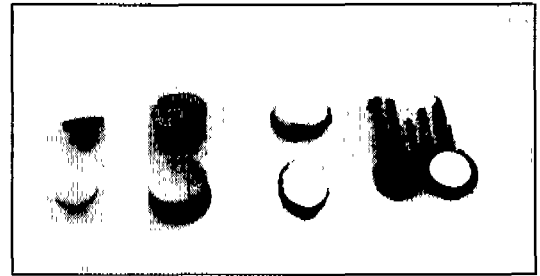


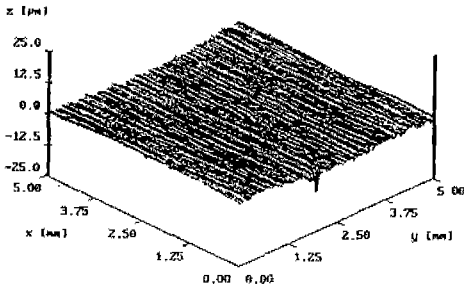
Fig. 8 Metal Samples for Components Analysis

(Maximum Defect Value)는 분석결과를 전혀 고려할 수 없다고 판단되는 DV(Defect Value)값을 나타내며, 신뢰도 (R %)는 MDV에 대한 MDV와 DV의 차이를 백분율로 나타낸다. 식 (3)에서 결함영역의 수에 α 의 가중치가 주어지고 있는데, 이는 전체 결함화소의 수가 동일하더라도, 결함영역의 갯수가 많으면 표면상에 더 넓은 범위에 분포하므로 신뢰도가 낮아짐을 보여준다. 결함영역이 넓은 범위에 분포하는 것이 분석결과에 더욱 나쁜 영향을 주는 것을 반영하기 위함이다. MDV와 α 는 분석자의 판단에 따라 변할 수 있는데, 본 연구에서는 $\alpha=2$ 를 사용하였으며, MDV는 4000을 사용하였다. 이는 전체결함화소 3,800개, 결함영역의 수 100개, 즉 하나의 결함영역당 38개의 결함화소가 있을 경우에 해당된다. 하나의 화소가 약 0.05 mm이므로 하나의 결함영역의 크기가 $0.3 \times 0.3 \text{mm}^2$ 의 크기이며, 이런 결함영역이 100개정도 분포하면 전혀 신뢰할 수 없는 시편으로 간주한다. 현재 경험에 의해 직경이 0.2mm이상인 결함이 3개 이상 존재할 경우 불충분한 시편으로 판단하는데, 이때의 신뢰도(R)은 99.63%가 된다.

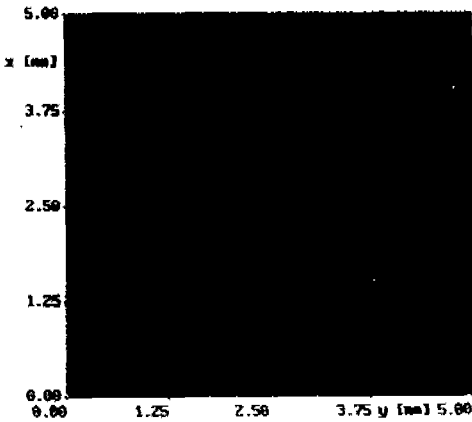
4. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 시편 표면 결함 검사 방법의 성능을 알아보기 위한 실험을 하였다. Fig.8 이 생산공정을 제어하기 위한 성분분석을 위하여 사용되는 시편들의 사진이다. 이들의 시편에 대하여 본 논문에서 제안한 조명장치를 사용하여 영상을 획득하고, 용선시편에 영상처리 알고리즘을 적용하였다.

Fig.9는 시편 표면의 결함이 있는부분을 3차원 조도 측정기 (3D Roughness Measuring System, Model RM600, Rodenstock Co.)를 사용하여 측정된



(a) 3D View of a Metal Sample Surface



(b) Plane view showing surface defects of (a)

Fig. 9 Metal Sample Surface Measured by 3D Roughness Measuring System RM600

그림이다. 시편중의 결함이 있는 부분을 중점적으로, 작은 결함이 측정가능하도록 하기 위하여 x 방향으로 0.025mm, y 방향으로 0.00077mm 간격으로 스캐닝 하여 측정하였다. Fig.9(a)는 3차원 형태를 보여주는 데, 결함이 있는 부분의 z 방향의 높이가 급격히 낮아지는 곳들이 결함들이며, 전체적으로는 연마때에 생긴 미세한 골들이 있다. Fig.9(b)는 (a)를 x-y 평면상에 투영한 그림인데, 표면의 형상이 높이에 따른 색깔로 표시되어 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 크기가 다양한 결함들이 있다. 결함이 있는 부분의 깊이는 이 그림에서는 약 0.018mm 이나 시편에 따라서는 4mm 정도의 큰 결함들도 있다. 이 시편의 결함의 크기는 0.05 mm 부터 0.35mm 정도의 크기이나, 시편에 따라 길이가 5mm정도에 해당하는 큰 결함이 발생할 때도 있다. 이와같은 큰 결함은 위의 측정기의 측정범위를 넘

Table 3 Image Processing Result of the Iron Sample 2

No. of Defect Region	Center Pixel	No. of Pixels	Center Point (mm)	MBR (mm)
1	305 14	9	12.89 0.75	0.13 0.21
2	362 58	52	15.30 3.09	0.42 0.59
3	349 60	2	14.75 3.20	0.08 0.05
4	123 85	9	5.20 4.53	0.13 0.21
5	410 88	15	17.33 4.69	0.30 0.21
6	132 142	666	5.58 7.56	1.23 1.76
7	81 131	5	3.42 6.98	0.08 0.16
8	398 148	4	16.82 7.88	0.08 0.16
9	378 160	12	15.98 8.52	0.17 0.21
10	447 226	4	18.89 12.04	0.17 0.05
11	297 310	14	12.55 16.51	0.17 0.27
12	362 327	3	15.30 17.42	0.08 0.11
13	304 333	1	12.85 17.74	0.04 0.05

는 것이므로 이 측정기는 시편의 표면결함을 측정하는 용도로 사용할 수 없다. 그러나 본 연구에서 개발된 영상처리를 이용한 시스템에서는 시편 표면의 영상을 이용하므로 결함영역을 감지할 수 있다. 또한, 이와 같은 측정 결과를 보면, 본 연구에서 사용된 영상처리 시스템의 분해능이 합리적임을 알 수 있다.

Fig.10은 3개의 시편에 대하여 본 연구에서 개발된 조명장치를 사용하여 얻은 시편의 영상들(Fig.10(a))와 이들을 영상처리 하여 얻은 결과들 (Fig.10(b))을 보여주고 있다. 제안한 조명장치를 사용할 때 전체적으로 명암도가 균일한 시편표면의 영상을 얻을 수 있었으며, 여기에서 볼 수 있듯이 결함이 있는 부분은 상대적으로 매우 어렵게 나타난다.

Fig. 10 (1), (2), (3)의 순서로 결함이 많아짐을 알 수 있다. 이들 시편중에 대표적으로 Fig.10 (2)에 대한 상세한 처리 결과를 Table 3에 보였다. 이 표는 해당 시편의 표면에 있는 모든 결함에 대한 상세한 정보를 갖고 있다. 즉 각각의 결함의 중심 화소의 위치, 결함에 포함되는 화소의 갯수와 결함의 실제위치, 각 결

Table 4 Inspection Results for the 3 Samples

No. of Sample	NDR	NDP	Size of LDR		Pos. of LDR (mmxmm)	Reliability
			(Pixels)	(mmxmm)		
1	11	124	57	0.46x0.53	17.08x4.47	95.62%
2	13	796	666	1.23x1.76	5.58x7.56	73.34%
3	45	1072	174	0.76x0.80	17.58x11.93	65.14%

NDR : Number of Defect Regions
 NDP : Number of Defect Pixels
 LDR : Largest Defect Region

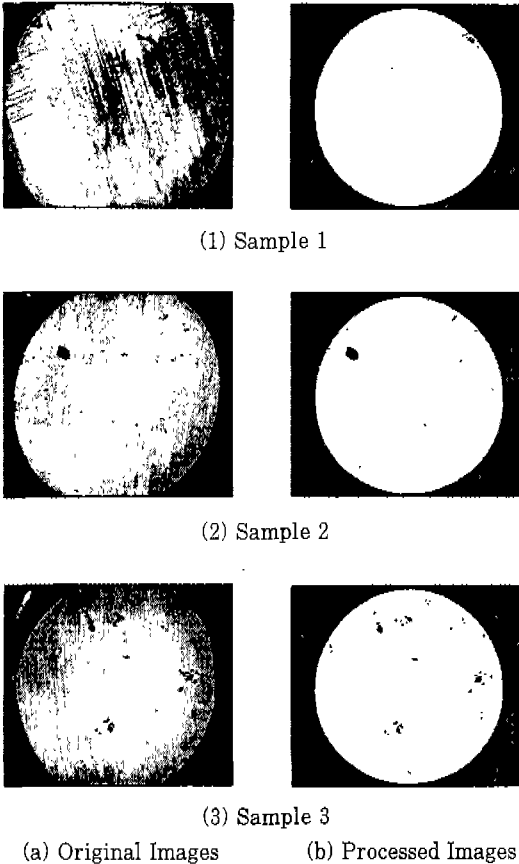


Fig. 10 Processed Images for Surface Defect Detection

함에 외접하는 최소사각형의 실제크기들을 보여준다.

Fig.10의 3개의 시편에 대한 결과를 Table 4에 정리하여 보았다. Table 4에 각각의 시편에 대하여 결함 영역의 갯수, 결함화소의 갯수, 최대크기의 결함영역의 크기(화소수, 실제크기), 최대결함 영역의 실제위치와 신뢰도를 보여준다.

시편 1은 결함영역이 11개이며, 최대결함영역의 크기는 $0.46 \times 0.53 \text{mm}^2$ 이며, 위치는 우측상부임을 보여준다. 또한 이 시편의 분석결과는 95.62%의 신뢰도를 갖는다. 시편 2는 1보다 결함영역이 많은데, 결함영역이 13개이며, 최대결함영역의 크기는 $1.23 \times 1.76 \text{mm}^2$ 이며, 위치는 좌측 중앙부임을 보여준다. 또한 이 시편의 분석결과는 75.34%의 신뢰도를 갖는다. 시편 3은 결함영역이 매우 많아서 신뢰도가 65.14% 밖에 되지 않는다. 이 시편은 결함영역이 45개이며, 최대 결함영역

의 크기는 $0.76 \times 0.80 \text{mm}^2$ 이며, 위치는 우측하부임을 보여준다. 시편 2와 시편 3을 비교하여 보면, 시편 2는 크기가 매우 큰 결함영역이 있고, 시편 3은 결함의 크기는 작으나 넓은 범위에 분포하고 있는데, 신뢰도는 시편 3이 시편 2보다 낮다. 이는 앞에서 언급한 바와 같다.

용선시편에 대한 본 논문의 영상처리기법을 실행하는데 드는 시간은 영상획득부터 결과를 얻기까지 약 5초의 시간이 소요되었다. 이는 실험에 SUN 3/260의 CPU가 25MHz, MC68020와 MC68881이며, UNIX O/S를 사용하고 있는데, 최신의 DSP등을 사용한 하드웨어를 사용하면 영상처리에 드는 시간은 크게 단축될 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 용선 시편에 대하여 XRF기기로 분석한 성분분석 결과를 적절히 사용하기 위하여, 시편 제작 작업중에 시편 표면 결함을 검출하는 작업을 자동화하기위한 영상처리 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 특수 조명장치, 영상처리 보드, 연마상태 판별 기법, 결함영역 추출 기법과 분석자의 경험적 판단을 묘사하는 적합성 판별 기법으로 이루어져 있다. 본 연구에서 개발된 조명장치를 적용한 결과 금속표면인 시편에 대하여도 문턱화에 의해 충분히 결함영역을 분할할 수 있을 정도로 양호한 입력영상을 얻을 수 있었으며, 연마상태 판별 알고리즘은 영상 전체를 탐색하지 않고 분석영역의 원주부분만 탐색함으로써, 처리 시간을 단축시키고, 미연마된 부분의 위치, 크기도 알 수 있었다. 또한 결함영역 추출 기법은 영상 전체를 한번의 탐색만으로도, 영역 외곽선의 좌표, 결함영역의 중심위치등을 효율적으로 계산할 수 있다. 용선시편에 적용되는 적합성 판별 알고리즘은 결함이 중심위치등을 효율적으로 계산할 수 있다. 용선시편에 적용되는 적합성 판별 알고리즘은 결함이 포함된 시편의 경우에도 작업자의 경험적 판단과 가까운 신뢰도를 줄 수 있음을 보였다. 프로토타입을 제작하여 실제 시편에 대하여 실험한 결과 영상처리 시스템이 온라인(on-line) 분석에 대해 효율적이며 충분히 성력화에 기여 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. W.A. Tony, "Automated Inspection of Metal Products not Quite Ready for Prime Time", I&SM, Vol.19, No.1, pp.14-19, Jan. 1992.
2. George W. Hess, "The Eyes Have It", Iron Age, Vol.9, No.7, pp.16-19, A Chilton Publication, July 1993.
3. Hideo Iwata, and Yohichi Ishibashi, "On-line Analysis and Automatic Analysis in Steel Making Processes", ISIJ, Vol.77, No.11 pp.1859-1867, Nov.1991.
4. N. Fujino, Y. Matsumoto, M. Yoshihara, et al, "Development of Fully Automatic Emission Spectrochemical Analyzer", Vol.68, ISIJ, pp.2585-2591, 1982.
5. S. Satou, Y. Yoshioka and Y. Ishibashi, "Fully Automatic Analysis System of Steel Works", Vol.74, ISIJ, pp.1119-1125, 1988.
6. Y. Ishibashi, Y. Yoshioka and S. Satou, "銑鐵 及び 鋼 の 全自動 システムの 開發", Vol.37, pp.T157-T162, 分析化學, 1988.
7. 김종형, 김천호, 조형석, "링 조명에 의한 경면 반사물체의 형상인식", 한국정밀공학회지, 제12권, 제4호, 1995, pp.78-87.
8. S.K.Nayar, A.C.Sanderson, L.E.Weiss and D.D.Simon, "Specular Inspection using Structured Highlight and Gaussian Images", IEEE Tr. on Robotics and Automation, Vol.6, No.2, pp.208-218, 1990.
9. 김태은, 최중수, "간접확산 조명을 이용한 혼성반사면의 3-D 형상복구", 제7회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표논문집, 한국과학기술원, 1995, 2.3-4, pp.71-76.
10. J. P. Frier and M. E. Frier, "Supplementary Lighting for Specific Tasks", Industrial Lighting Systems, McGraw-Hill Book Co., pp.142-155, 1980.
11. 지철근, 조명공학, 문운당, pp.111-125, 1986.
12. Horn, B.K.P., "Binary Images: Geometrical Properties, Topological Properties", Robot Vision, MIT press, pp.46-64, 1986.
13. D. H. Ballard and C. M. Brown, "Region Growing", Computer Vision, Prentice-Hall: New Jersey, pp.149-165, 1982.
14. P. H. Winston and B. K. P. Horn, "Examples Involving Arrays and Binary Images", LISP, Part I, Chapter 10, pp.151-167, Addison-Wesley, 1984.