

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.3.123>

IIBC 2016-3-17

전극 표면 검사 장치 연구 개발

Research and Development of Electrode Surface Inspection System

오춘석*

Choonsuk Oh*

요약 이차 전지 생산 공정에서 발생하는 전극 표면의 결함을 검사하는 비전 시스템을 연구 개발한다. 전극 표면 검사 비전 시스템은 제어 및 광학계의 하드웨어 설계 부분과 비전 검사용 소프트웨어 알고리즘 개발로 크게 두 부분으로 구성된다. 하드웨어는 시스템 구성, 광학계의 설계, 조명부, 제어부로 나누어지며 소프트웨어는 결함 검출 알고리즘을 개발 구현한다. 이 시스템을 통해서 전극 공정의 자동 결함 검출을 통해서 품질 향상과 가격 경쟁을 목표로 한다. 제안된 결함 검출 알고리즘을 이용하여 검사한 결과 전극의 반점, 라인, 맨홀, 이물, 스크래치, 분화구 불량에 대해서 높은 신뢰성을 보인다.

Abstract In manufacturing processing of a secondary battery, the visual inspection system is studied and developed to check the surface defects of the electrode plates. It consists of two parts, one is the hardware control and the other software implementation. The former is made up to the system configuration and the design of the optical system, the illuminations and the controllers. The latter is the detection algorithms of the surface defects. This system achieves the quality improvement of the electrode process and the price competitiveness. By using the proposed defects detection algorithms this system demonstrates the high reliability of spot, line, manhole, extraneous substance, scratch, and crater defect of a electrode plate surface.

Key Words : Surface Defects, Electrode Plates, Visual Inspection

1. 서론

자동차, 핸드폰 등 점점 이차전지의 수요가 확대되고 있는 실정에서 전지 개발 공정에 들어가는 전극 공정에서의 검사 시스템의 수요가 급증하고 있다. 이에 전극 표면의 균일성이 검증이 돼야 하는데, 그렇지 않으면 생산량 저하로 직결되므로 꼭 필요한 시스템이라 할 수 있다. 문제는 작업자에 의한 불량 검출^[1-5] 방법에서 작업시간이 오래 걸리고, 피로에 따른 불량 검사의 실수가 발생하

기도 한다. 이 비전을 통한 자동 검사기로 대체되면 불량을 상당히 개선할 수 있으며, 검사 인원의 축소로 생산 단가를 낮출 수 있는 이점이 발생한다. 외국인 장비의 개발 단가 경쟁에 유리한 점을 확보하고, 수입 대체효과와 시장 창출을 통해 국내 시장 뿐만 아니라 해외 시장에도 경쟁력을 갖출 수 있다. 이 전극 표면 검사 시스템은 하드웨어 시스템을 제어하기 위해 PLC 제어 및 프로그램 개발과 이더넷 설치, 관리 프로그램 개발, 패턴 및 무지 길이 판독을 위한 엔코더 개발, 내부 데이터 입출력 설계,

*정회원, 선문대학교 기계ICT융합공학부
접수일자 : 2016년 3월 31일, 수정완료 : 2016년 5월 1일
게재확정일자 : 2016년 6월 10일

Received: 31 March, 2016 / Revised: 1 May, 2016 /

Accepted: 10 June, 2016

*Corresponding Author: ohprofessor5@gmail.com

School of Mechanical and ICT Convergence Engineering,
Sunmoon University, Korea

광학부 설계 등의 개발이 필요하며, 비전 검사 소프트웨어 개발을 위해서는 비전 검출을 위한 영상 처리 알고리즘 개발, 코팅 검사 알고리즘 개발, 무지 검사 알고리즘 개발, 검사 시스템 관리 프로그램 개발, 데이터베이스 구축 등의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 영상처리를 사용하여 그림 1과 같이 전극의 표면 코팅 검사에서 결함을 검출하는데 집중한다. 전극 표면의 코팅 검사 결함으로는 그림 1과 같이 반점 불량, 라인 불량, 맨홀 불량, 이물불량, 스크래치 불량, 분화구 불량 등으로 분류할 수 있다.

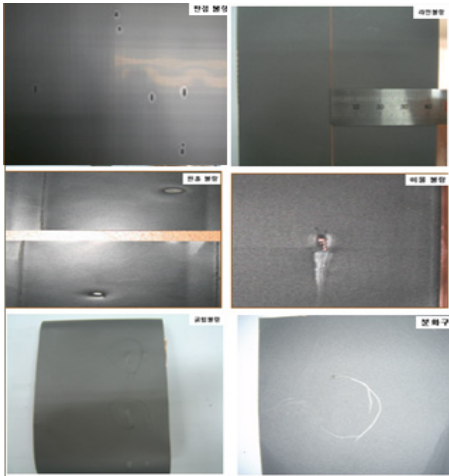


그림 1. 전극의 반점, 라인, 맨홀, 이물, 스크래치, 분화구 불량
Fig. 1. Spot, line, manhole, extraneous substance, scratch, and crater defect of a electrode plates surface

II. 검사 장치 설계

비전 검사를 통해 전극 표면의 결함을 검사하는 시스템이 결함들의 규격이나 타입에 따라 자동으로 선별해야 한다. 현장 공정 라인에 대한 실시간 불량 검출을 통해 연속 불량 발생 시 알람을 동작시켜 대량 불량 생산의 사전 방지를 해야 한다.

1. 시스템 구성

본 개발하고자 하는 시스템 구성은 그림 2처럼 두 대의 모니터로 나누어 상부 코팅 시료와 하부 코팅 시료를 검사한다. 검정색의 코팅 시료의 결함 검사에 2대의 라인 스캔 카메라를 사용하는데, 영역 1에서는 상부 코팅 검사 1대, 영역 2에서 하부 코팅 검사 1대, 이렇게 2대의 카메라

를 사용하여 측정을 하게 된다. 2대의 카메라로부터 영상을 입력 받아 각각의 PC로 데이터를 전송한다. 전송된 데이터는 각각의 컴퓨터에서 검사를 수행하여 결과를 마스터 PC로 전달하고, 또한 PLC로 정보를 전달하여 다음 동작을 수행하게 된다. 중간 과정에서 광 구동 센서 (Trigger Fiber Sensor)가 동작 진행을 검사하면서 공정을 관찰하고 있다. 검사 시스템의 검사 장면의 영상을 캡처하여 검사를 수행하고 그 결과를 디스플레이하고 결함을 검색하여 표기하여 준다.

다음은 검사 시스템내의 데이터 처리를 위한 네트워크 관련 사항이다.

- 이더넷(Ethernet) : 제품 정보 전송, 불량 이미지 전송, PLC 인터페이스
- 입출력: 외부 시작 및 정지, 광 구동 센서, 불량 상태, 알람 발생
- 엔코더(Encoder) : 패턴 길이 판독, 외부 시작 및 정지 디스플레이, 불량 위치 관리
- 데이터베이스 : 불량 이력 관리, 서버와 인터페이스, 모델관리, 모델별 설정관리

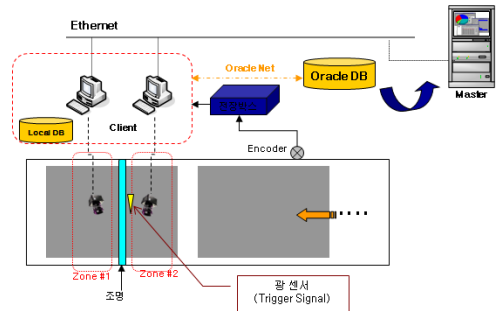


그림 2. 검사 시스템 구성도
Fig. 2. The inspection system composition

2. 광학계 구성 사양

고화질의 영상 획득을 위해 표 1과 같이 디지털 출력의 라인 센서^[6]인 0.0854mm의 분해능과 라인 주사율 7.81KHz를 가진 라인 스캔 카메라를 사용한다.

- video 신호는 10bit 디지털/아날로그 신호를 출력한다.
- 해상도는 5150 픽셀이며, 스캔 클럭이 40MHz의 CCD 라인 스캔 카메라이다.
- 구동 클럭과 라인 전송 펄스는 외부로부터 입력이 가능한 RS-644 인터페이스를 사용한다.
- 대부분의 프레임 그레버 보드와 인터페이스가 양호하고 정확도가 높은 화상처리 시스템 구축에 용이하다.

- 렌즈는 F-마운트 사용한다.
- DC 12V의 단일 전원으로 동작한다.
- 아날로그 출력신호를 이용하여 출력파형을 모니터링 할 수 있다.
- 동적 범위가 크고 잡음에 견고한 특성을 갖는다.

표 1. 광학계의 분해능과 라인 주사율
 Table 1. Resolution and line scanning rate for the line-scan camera

| 구분 | 설명 |
|--------|--|
| 해상도 | 제품 최대 폭 : 최대 650mm 카메라 분해능 : 4096 픽셀 시야각(FOV) : 350mm 해상도 : 350mm/4096 = 0.0854mm (수직과 수평 동일) |
| 라인 주사율 | 공정의 라인 속도 : 최대 40M/Min (통상 20M/Min) 해상도 : 0.0854mm/픽셀 라인 주사율(Line Rate) : 40000/60/0.0854=7.81 kHz |

3. 조명

과장 800mm이 인 고주파 형광등으로 직사 방식으로 전극판 표면에 조명을 한다. 반사된 빛은 렌즈를 통해서 라인스캔 카메라의 CCD셀에 전기적인 신호로 저장하게 된다.

4. 그레버(Grabber)

제어부는 크게 영상획득을 제어하는 컴퓨터, 영상획득을 담당하는 프레임 그레버, 영상을 표시할 수 있는 디스플레이 부분으로 크게 나눌 수 있다. 이 시스템에 사용되는 컴퓨터 안에 Matrox Meteor - II/Digital^[7] 프레임 그레버를 내장하여 사용한다. Matrox Meteor -II/Digital은 표준/비표준 영상획득 디지털 프레임 그레버로 이 보드는 PCI form 규격에서 사용 가능하다. Matrox Meteor -II/Digital는 디지털 영상을 표준/비표준 카메라를 이용하여 RS-422또는 LVDS (Low Voltage Differential Signal) 차등신호 규격으로 영상을 획득한다. 이 보드는 4x8 bit, 2x16 bit, 또는 1x32bit의 영상 획득을 지원한다. 카메라로 4x8bit 또는 RGB 영상을 획득할 수 있다. 이 보드는 멀티탭 그레버(Multi-tap Grab)을 지원하고 외부 트리거, 비동기식 초기화모드 지원, 프레임과 필드 모드를 조작할 수 있다. 샘플링 속도는 최대 RS-422에 대해서는 25MHz이며, LVDS에 대해서는 40MHz이다. 화상

이미지 처리를 위한 룩업 테이블(Lookup Table)을 지원 하여, 폭 넓은 이미지 처리를 하며, 32bit 확장 인터페이스를 갖추고 있다. 이 Matrox 보드는 라이브 영상을 호스트 메모리나 오프보드 화면 메모리에 전송하며, 화상 이미지의 손실을 방지하기 위해 4M 바이트 이상의 임시 저장용 비디오 전송 메모리를 갖추고 있다. 또한 이 보드를 원활하게 지원하기 위해 Matrox Image Library(MIL)를 제공하여 사용자가 쉽게 많은 기능을 이용할 수 있다.

5. 불량 검출 알고리즘

빛의 감도에 의한 1차 검출로 포일 색상 불량을 검출한다. 그림 4에서 영상의 빛 밝기값을 기준인 코팅부 밝기값을 기준으로 좌측에 코팅부 표면의 포일 색상이 흰색인 불량을 영상 프로 파일에 의해서 경계값을 이상의 영역을 탐색하여 찾아내므로 포일 색상 불량을 검출한다. 이 후에 불량 크기에 의한 2차 검출을 시작한다. 첫째로 불량 영역 조건 검출을 수행한다. 영역 조건 검출은 불량면의 면적을 말하는 것으로 1차의 빛에 의한 검출이 이루어진 영상을 기준으로 화소의 개수로 넓이를 측정한다. 이때 측정값이 설정 값보다 크면 불량으로 처리한다. 둘째로 그림 4처럼 너비 조건 검출을 수행하는데 너비는 불량면의 너비를 말하는 것으로 1차의 빛에 의한 검출이 이루어진 영상을 기준으로 측정된 값이 설정된 값보다 크면 불량 처리한다. 셋째로 길이 조건 검출은 그림 5처럼 대각선의 불량면의 길이를 말하는 것으로 1차의 빛에 의한 검출이 이루어진 영상을 기준으로 측정된 값이 설정된 값보다 크면 불량 처리한다. 너비와 길이 측정을 위해 최소 외접 직사각형 법을 이용한다.

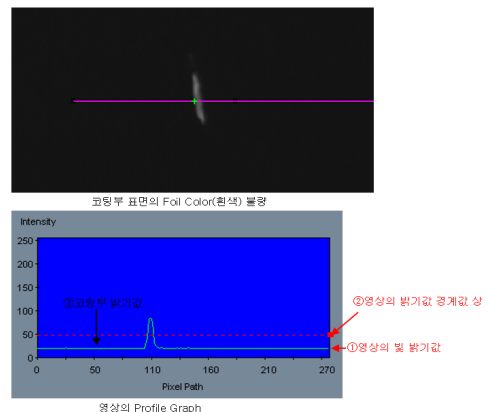


그림 3. 포일 색상 불량 검출
 Fig. 3. A foil color defect detection



그림 4. 너비 측정
Fig. 4. Width measurement



그림 5. 길이 측정
Fig. 5. Length measurement

가. 최소 외접 직사각형

1차적으로 결함을 구분하는 방법은 원시적인 값인 길이, 너비, 면적을 측정하여 선 종류의 불량을 검색하는 영역을 감싸는 최소 직사각형^[8]의 크기는 그림 6과 같은 형태이다. 물체의 모양이 일정하지 않지만 외곽 부분을 포함하는 직사각형이라고 하면 된다. 외접 직사각형은 대상체를 둘러싸는 가장 작은 직사각형으로 x 축과 y 축은 θ 만큼 회전하여 식 1처럼 주축 α 와 단축 β 로 변환할 수 있다.

$$\alpha = x \cos \theta + y \sin \theta, \beta = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (1)$$

주축은 가장 길이가 긴 선의 끝점들 (x, y) 로 대상을 통과하여 그려질 수 있다. 주축 끝점 (x_1, y_1) 과 (x_2, y_2) 들은 모든 대상 경계 내의 테두리 픽셀의 조합 사이의 최소 거리를 계산하여 얻는다. 그리고 최대의 길이 쌍을 찾는 것이다.

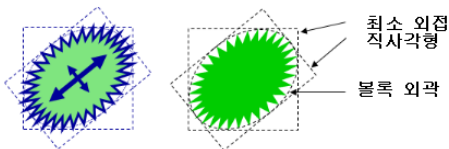


그림 6. 최소 외접 직사각형
Fig. 6. A minimum circumscribed rectangle

주축의 너비 l_m 는 주축의 끝점들 간의 픽셀 간격 길이를 말한다. 식 2 결과는 대상의 길이 측정값이다.

$$l_m = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2)$$

여기서 (x_1, y_1) 과 (x_2, y_2) 는 주축의 끝점들이다. 주축 각도는 주축과 화상의 x 축 간의 각도는 0도에서 360도 사이의 값이다. 식 3은 대상의 회전 정도 측정치이다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \right) \quad (3)$$

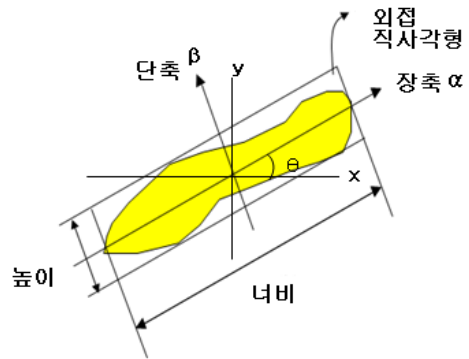


그림 7. 최소외접 직사각형의 장축과 단축
Fig. 7. Long-axis and short-axis of A minimum circumscribed rectangle

단축은 주축과는 수직을 유지하면서 대상을 가로질러 그려지는 가장 긴 선의 끝점 (x, y) 들, 단축의 끝점 (x_3, y_3) 과 (x_4, y_4) 들은 두개의 테두리 픽셀 끝점들 간의 픽셀거리를 계산하여 얻는다.

단축 높이 l_n 은 단축 끝점들 간의 픽셀 간격 길이로 결과로 식 4는 대상의 높이 측정값이다.

$$l_n = \sqrt{(x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2} \quad (4)$$

단축 높이 대 주축 너비 비율은 글자 그대로 단축 폭 대 주축 길이의 비율을 말한다. 이 비율은 단축 폭 나누기 주축 길이로 구한다. 결과는 대상의 늘어진 정도의 측정치로서 0에서 1사이의 값으로 주어진다. 만일 이 비율이 1이 되면 대상은 거친 사각형이거나 원형같이 생긴 것이다. 비율이 1에서 줄어들수록 대상은 더욱 늘어진 꼴로 되는 것이다.

나. 원형도

원형도^[8] e 는 형상의 모양이 얼마나 원에 가까운가를 나타내는 척도로써 식 5처럼 이상적인 원에 대해 1의 값이 나오며 원형에 멀어질수록 값이 작아진다. A 는 영상 면적이고, l 은 물체의 둘레 길이 또는 경계 길이이다. 형상이 복잡해지면 경계의 길이가 늘어나므로 원형도 e 는 떨어진다. 또한 정규화된 식으로 표현할 수 있는데, 이런 경우는 원일 경우 0의 값을 가지며, 복잡한 모양인 경우는 1에 가까워진다.

$$e = \frac{l^2}{4\pi A} \quad (5)$$

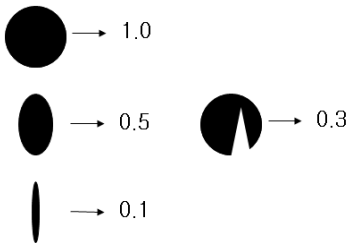


그림 8. 원형도 예
 Fig. 8. Circularity examples

원형도의 예로 진원일 경우 1, 진원이 아닐 경우 0으로 설정한다. 진원 비율 산출 방법은 그림 8처럼 면적을 구성하는 픽셀들의 매워져 있는 것에 대한 면적을 산출하고, 산출된 면적에 원의 표면적을 계산하여 진원의 비율을 계산한다.

III. 결함 검사 결과 및 고찰

설계한 광학계, 구동부, 기구부, 조명부를 그림 9처럼 실제로 구현하여 실험한다.

검사시스템은 외부 조명의 간섭을 방지하고 정확한 영상 획득을 위해서 다른 모든 조명의 전원은 차단하고 파장 800nm 고주파 형광등의 직사 조명을 통해서 영상을 획득하여 검사하게 된다. 라인스캔 카메라에 의해서 획득된 영상을 분석하여 그림 10처럼 결함 위치와 결함 면적, 결함 종류를 검출한 예를 보여 주고 있다. 주로 검출되는 불량으로는 맨홀 불량, 라인불량, 비산 불량에 대부분이고 간혹 분화구 불량, 스크래치 불량과 이물질 불량이 나타남을 알 수 있다.

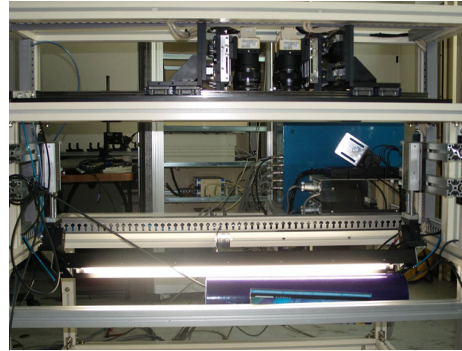


그림 9. 결함 검사 시스템
 Fig. 9. Defect inspection system

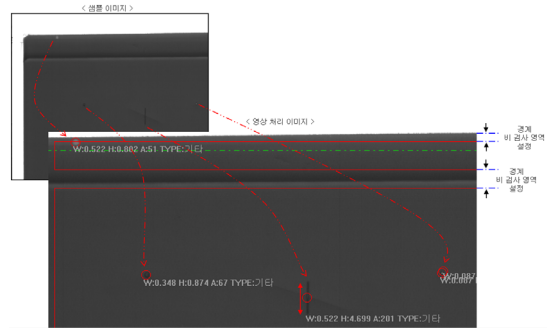


그림 10. 결함 검출 영상의 예
 Fig. 10. Defect detection example

또 다른 불량 예로 그림 11처럼 여러 개의 불량을 라인 스캔을 통해서 검출된 결함의 면적, 길이, 폭 등의 위치 측정 결과로 최소 외접 직사각형을 계산할 수 있다. 그림 12에서는 원형도를 활용하여 라인, 스크래치 등의 선 결함 타입과 반점, 맨홀, 분화구 형태의 원형 결함 타입과 비교적 선이나 원형 결함보다 훨씬 큰 면적의 결함인 비산 결함으로 분류할 수 있다.

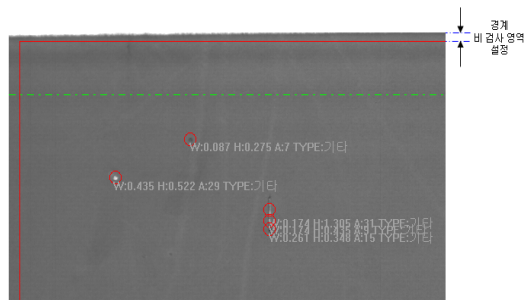


그림 11. 결함의 면적, 길이, 폭, 타입
 Fig. 11. Area, length, width and types of defect

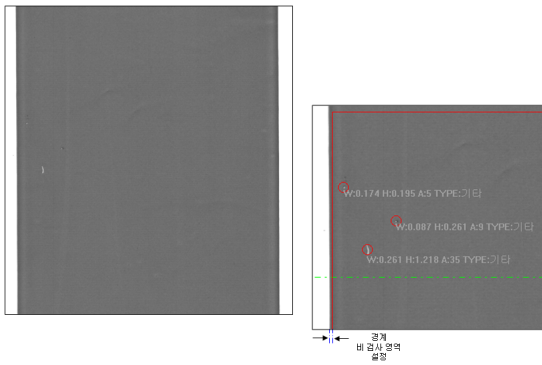


그림 12. 반점, 라인, 스크래치 결함 검출 예
Fig. 12. Detection example of spot, line, and scratch defect

IV. 결론 및 기대효과

본 연구에서는 전극 표면을 검사하여 불량을 검출하고 판별하기 위하여 화상처리 검사 알고리즘을 구현한 검사시스템을 구현하였다. 전극 표면 검사는 제조 공정에서 발생할 수 있는 불량들을 정리하고 각 불량들의 특성을 고려하여 이에 맞는 검사 목표를 선정하고 알고리즘을 제안하였고, 알고리즘은 빠른 시간 안에 처리할 수 있도록 단순화시켰다. 각 불량에 대한 제안된 알고리즘을 이용하여 검사한 결과 전극의 반점, 라인, 맨홀, 이물, 스크래치, 분화구 불량에 대해서 높은 신뢰성을 보였다.

제안된 알고리즘과 장치 검사로 신뢰성을 검증/보안하고 최적화를 시켜 실제 검사라인에 적용하면, 전극표면 검사 방법의 자동화로 생산성 향상과 제품의 신뢰성을 높일 것으로 기대된다.

References

[1] C. S. Oh, "3D Analysis System for Copper Palate Defect Detection", Journal of IIBC, Vol. 13, No. 1, pp.55-62, 2013.
[2] C. H. Han and C. S. Oh, Y. K. Ryu, and S. H. Cho, "Development of Vision system for Back Light Unit of Defect", The transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers. D Vol. 55 no.4, pp.161-164, 2006.

[3] C. S. Oh and H. M. Lee, "A High-speed Automatic Precision Inspection System for Bolts Defects", Journal of KIPS, Vol. 10-B, No. 6, pp.305-310, 2003
[4] C. S. Oh and H. M. Lee, "Automatic Visual Inspection System Development for Tarpaulin's Pinholes Defect Detection", Journal of KIPS, Vol. 7, No. 6, pp.1973-1979, 2000.
[5] C. S. Oh, Y. Ryu and B. Roh, "Video Tape Recorder Head inspection using image processing techniques," Optical Engineering, Vol.38, No.1, pp.124-130, 1999.
[6] Dalsa INC., "1998-1999 Databook," 1998.
[7] Matrox Electronic System Ltd., "Matrox Imaging Library," Manual No.10513-MN-0600, February, 1999.
[8] C. S. Oh and C. H. Han, *Image Processing Technology and Applications*, Bokdu Press, pp.193-196, 2014.

저자 소개

오 춘 석(중신회원)



• 1993년 ~ 현재 : 선문대학교 기계 ICT융합 공학부 교수.
<주관심분야: 화상처리, 자동검사, 머신비전, 광학시스템설계>