

## 광학용 유리자동검사기 개발에 관한 연구

구마끼\*, 유영기\*\*, 정경민\*\*\*, 편영식\*\*\*

A Study on the development of Automated Optical Glass Inspection System

Noriaki Kumaki\*, Young Kee Ryu\*\*, kyoung Min Jeong\*\*\*, Young Shik Pyoun\*\*\*

\* 선문대 대학원, \*\* 선문대 전자통신공학부, \*\*\* 선문대 기계·자동화공학부

### Abstract

Laser printer, faximile and copy machine are a few examples of OA(office automation) system. In such a system, the reflecting mirror has been employed for transmitting a target image to optical device. Therefore, to develop a good quality of optical system, the quality control of optical mirror was required. In recent years, considerable efforts have been directed toward the development of automated optical glass inspection system because the inspection is eye-fatigue and monotonous job for humans to perform. In this paper, we propose a inspection system applying algorithm of image processing for detecting defects of optical glass such as pinhole, scratch. From the experiments, the proposed inspection system shows reliable results.

<Key words> :

Algorithm of image processing(화상처리 알고리즘)

Vision inspection system(비전 검사시스템)

Optical glass(반사경)

### 1. 서론

광학용 기술은 하나의 통신선에 많은 정보를 보내는 광통신, 산업생산 현장에서 적외선을 이용한 다양한 센서들<sup>(1),(2),(3),(4),(5)</sup>, 그리고 산업용 및 의료용 등에서 다양하게 특수작업에 사용되어지는 레이저 광을 이용한 기술 등에 보듯이 현대 기술발전 중

요한 역할을 하고 있다.

사무실에서 사용하고있는, 레이저프린터, 복사기, 팩시밀리 등도 광학을 응용한 예의 하나이다. 이러한 OA기기들에 필수적으로 설치되어있는 정밀하게 가공된 반사경 유리부품은 복잡한 광로 설계로 제품의 외관을 줄이는 역할 뿐만 아니라 성능을 좌우하는 중요한 광학부품이다. 이러한 광학용 반사경을 생산하는데 고도의 기술이 요구되며, 다양한 광특성을 만족시키기 위해서 선진국가에서는 많은 연구개발이 진행 되고 있다.

반사경 유리의 원판자체를 생산하는 과정에서 발생하는 핀홀등의 결함도 전체의 1% 정도 되고 유리의 특성인 높은 취성 때문에 원판을 가공하는 공정 중에서도 핀홀, 스크리치 등 여러 형태의 결함들이 발생한다.

제품의 품질을 최대한으로 높이고 납품업체에서 품질의 신뢰를 인정받아 동종의 해외 선진기업과의 경쟁에서 우위를 확보하기 위해서는 위에서 언급한 결함들을 정확하게 인식하여 완벽하게 불량품을 선별할 수 있어야한다.

현재 결함 검사는 사람이 육안으로 시행되고 있으며 검사자의 건강상태, 작업시간대 에 따라 검사 정확도에 많은 차이가 생기고, 장시간 검사시 작업자의 집중력 둔화로 검사정확도가 떨어지고있다. 이러한 문제점을 해결하고 동시에 검사 생산성을 향상시키기 위해서는 유리를 검사하고 불량품을 선별하는 작업의 자동화가 필요하다.

본 논문에서는 반사경 유리를 가공하는 과정에서 발생하는 결함들을 검출하여 선별하는 비전용용 자동검사기 개발에 대하여 설명한다.

## 2. 광학용 유리의 가공과정

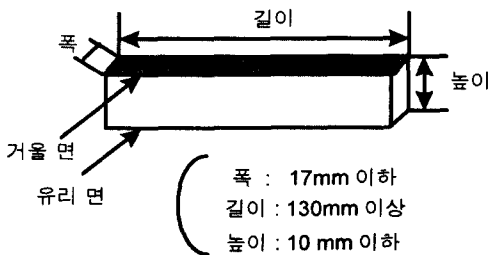
<그림 1>의 각각 유리 가공 공정은 다음과 같다.<sup>(6),(7)</sup> CNC Scribing Machine에서 초경공구를 사용하여 요구되는 정확한 치수로 금긋기 작업을 하고, 분리 공정에서는 금긋기한 유리를 양쪽에서 균등한 전단력을 가하여 부러뜨리고 분리시킨다. 다음의 옆면 면취(Edging) 공정에서는 앞, 뒷 면의 모서리 부분을 연삭하고, 유리 세척(Cleaning) 공정에서는 전 공정에서 생긴 칩(Chip=유리분말)을 물로 세척하고, 건조(Drying) 공정에서는 물에 젖은 유리를 건조한 공기로 건조시키는 작업이다. 검사 공정에서는 원자재 생산시 코팅과정에서 생기는 결함, 금긋기, 분리, 면취, 세척, 건조의 유리가공 과정에서 생기는 결함을 찾아서 불량품을 선별한다. 포장(Wrapping) 공정에서는 위 검사에 합격한 제품의 뒷면에 날짜등을 마킹하고 제품으로 출하하기 위해 포장한다.



<그림 1> 유리 가공 공정

<그림 1>에서 보이는 여러 단계의 유리 가공 공정에서 다양한 결함들이 생긴다. 유리사이의 부딪힘 및 이동시의 부주의로 인한 결함, 금긋기의 오류로 인한 결함, 유리 분리시 빗각에 의한 결함, 세척 기계에서 롤러에 붙은 칩(Chip)이 롤러에 압력이 가해지면 그 힘으로 인해 코팅층의 스크래치나 박리에 의한 결함등이 발생한다. 제품 품질을 높이기 위해서는 우선 공정중에 발생하는 결함 자체를 줄이는 노력과 함께 본 논문의 주제인 결함 검사를 시행해야 한다.

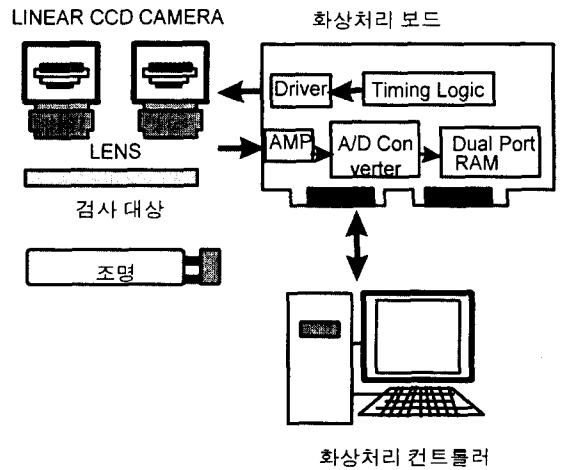
<그림 2>는 검사대상 제품의 한 예이다.



<그림 2> 검사 대상

## 3. 화상처리 시스템

화상처리 시스템은 <그림 3>에서 보이는 바와같이 구성되었으며 화상처리보드에서 카운트된 시간에 1차원 CCD 카메라에서 수집된 영상이 화상처리보드에서 디지털 데이터로 변환 되고, 화상처리 컨트롤러에서 프로그램된 화상처리알고리즘에 따라 데이터처리 된다. 제품에 결함 유무가 판단됨에 따라 제어 출력신호를 PLC에 보낸다. PLC에서는 불량품을 제거하기위한 시퀀스 제어가 시행되고 공압 시스템이 동작한다.



<그림 3> 화상처리 시스템 구성

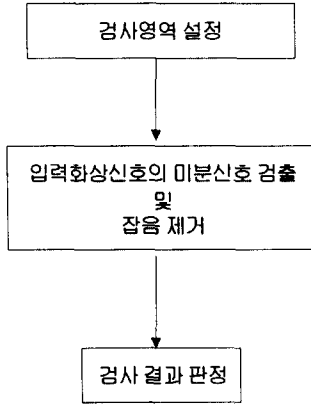
검사 대상 CCD 카메라, 화상처리보드 의 사양은 <표 1>과 같다.

<표 1> CCD카메라 화상처리보드 사양

항 목		사양
카메라	CCD 셀수	512 개
	CCD 셀폭	25 $\mu$ m x 25 $\mu$ m
화상처리보드	A/D 변환 주파수	1MHz
	카메라 입력수	동시 2채널 AD 변환

#### 4. 화상처리 알고리즘

2항에서 언급한 광학용 유리의 결함을 검출하기 위하여 본 연구에서는 선형 이미지 센서가 장착된 CCD카메라를 사용하였다. 화상처리는 아래 <그림 4> 와 같이 크게 세 부분으로 구분되어 입력화상의 영상처리가 이루어지며, 각 단계의 화상처리 과정은 다음과 같다.

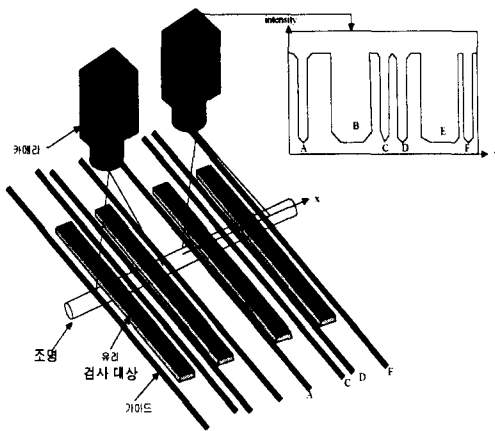


<그림 4> 화상처리 과정

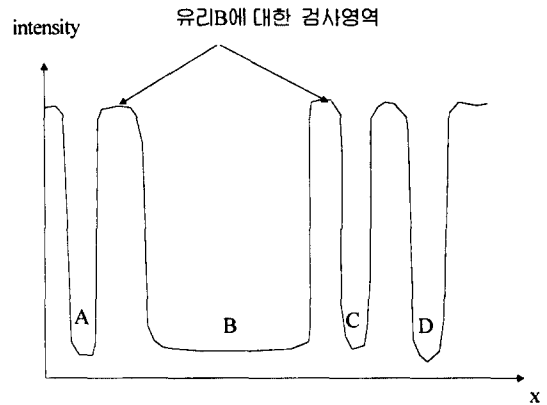
검사시스템에는 검사대상인 유리를 일정 위치로 이송하기 위하여 가이드(Guide)가 설치되어 있다. 유리는 설치된 가이드 사이로 이송되며, 검사가 이루어지는 위치에서는 검사 대상면의 반대편에서 역광을 비추도록 조명장치를 설계하였다. 이 경우, 가이드와 유리사이의 공간에서 나오는 광량과 유리 표면의 결함부분으로 인한 광성분만이 카메라로 입사된다. 또한 실제 산업 현장에서는 하루에도 다양한 형태의 유리를 검사해야 하기 때문에 유리의 외곽 크기에 관계없이 작업자가 쉽게 사용할 수 있어야 하고, 사용중 가이드의 위치가 구조상 쉽게 이동하도록 설계하였기 때문에 본 연구에서는 유리 표면에 대한 검사알고리즘을 적용하기전에 양 가이드 사이에서의 유리 위치를 먼저 설정한 뒤 입력 화상을 처리하였다.

<그림 5>는 가이드와 유리가 검사되고 있는 과정을 간략히 도시하였다. 가이드 A, C, D, F 와 유리 B, E는 카메라에서의 입사광량이 낮고, 나머지는 큰 광량을 보인다.<sup>(4),(5),(8),(9)</sup> 이 경우 유리 B의 검사영역 설정은 아래 그림과 같이 가이드 A, C 와 유리 B사이의 최대 광량위치로 선정하였다.

#### 4-1. 검사 영역 설정



<그림 5> 카메라와 가이드

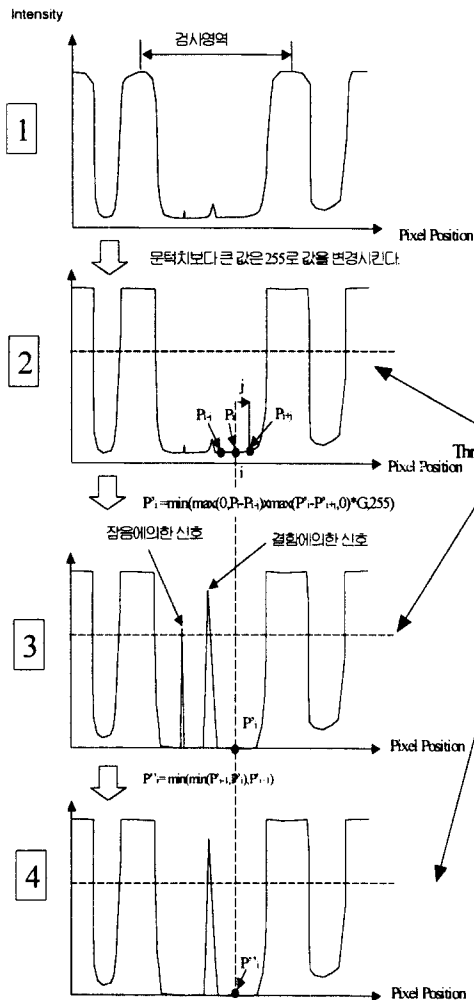


<그림 6> 검사영역

#### 4-2. 입력신호의 미분신호 검출 및 잡음제거

유리면의 얇은 막으로 코팅되어있는 반사면에 손상을 입은 것을 결함으로 본다. 이 경우 역광의 빛이 결함 부분을 통과하여 카메라에 맺히게 된다. 그러나 결함으로 인한 CCD센서에서의 광량은 미미하며 전기적 잡음과 유사한 형태로 계측된다.

<그림 7>의 단계 1에서 보이는 바와 같이 일반적인 CCD센서에서의 신호는 아주 미세한 변화를 보인다. 이러한 결함의 신호를 일반 잡음등의 신호와 구별하기 위하여 <그림 7>의 단계 2, 3, 4와 같은 신호처리를 행하였다.



<그림 7> 영상처리

여기서 광강도(Intensity)의 검사범위를 8bit 분해능인 0~255개의 화소의 값(Pixel)으로 나누고 하나의 화소의 값(Pixel)을 CCD센서가 감지 가능한 최소의 단위로 한다.

단계 2에서는 각화소의 값이 기준의 문턱치(Threshold Value)보다 크면(광강도의 검사범위 보다 클때) 255의 값으로 설정하는 과정을 검사영역에 대하여 처리한다.

단계 3에서는 각화소의 값과 주위의 화소값 사이에 산모양의 값이되는 경우 큰 출력값이 되도록 식(1)과 같이 새로운 화소를 계산한다. 그 출력값이 기준의 문턱치 보다 클 때 결함 판단의 대상이 된다.

$$P'i = \min [ \{ \max(0, P_i - P_{i-j}) \times \max(P_i - P_{i+j}, 0) \} \times G, 255 ] \quad - (1)$$

여기서, I : 화소위치

j : 화소 i가 주위 화소와 떨어진 화소 간격

P<sub>i</sub> : 위치 i에서의 화소 값

P'<sub>i</sub> : 위치 i에서의 새로 계산되는 화소 값

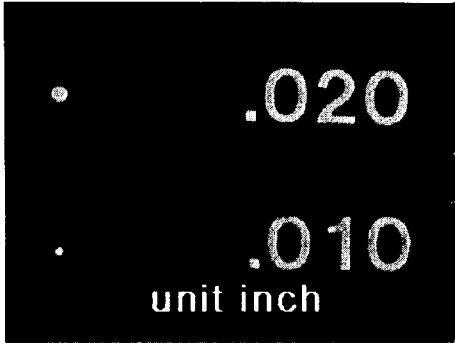
G : 이득(Gain)

단계 4에서는 전 단계에서 계산하고 결함 판단의 대상이 된 신호에서 전기적 잡음과 같이 갑자기 변하는 신호(파장 폭이 작은 신호)에 의한 결과를 결함에 의한 결과와 구별하기 위하여 식(2)와 같이 새로 계산 될 위치의 화소의 값과 바로 인접 화소값 중 가장 작은 값을 취하게 하여 잡음 신호를 제거하여 남은 결함기준 문턱치를 넘는 신호를 결함으로 판단한다.<sup>(10)</sup>

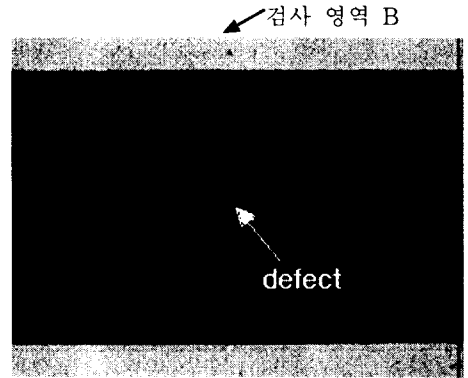
$$P''i = \min \{ \min(P_{i-1}, P_i), P_{i+1} \} \quad - (2)$$

#### 4-3. 검사결과 판정

앞에서 언급한 알고리즘으로 매 순간 유리의 화상을 구하고 그 화상으로부터 결함이 발생한 화소의 수(Pixel)를 계산한다. 결함의 판정은 화소의 수가 기준의 문턱치(Threshold Value)의 값보다 큰 경우 결함으로 판정 한다.



<그림 8> 산업현장에서 적용되고 있는 결함의 크기 비교 표



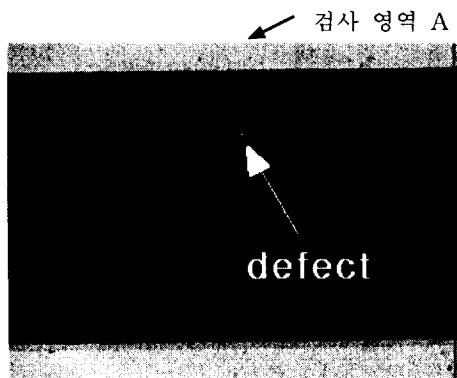
<그림 10> 결함(나) : 매우작은 Pinhole

### 5. 실험 결과

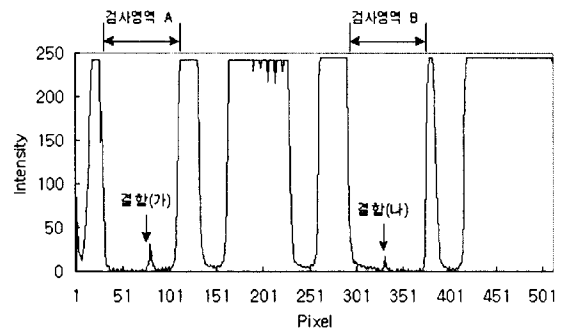
위의 <그림 8>은 실제 현장에서 작업자가 육안검사로 결함을 검사할 때 사용하고 있는 비교표를 보였다. 이 그림에서 일반적으로 결함으로 판정하는 경우는 0.02(inch)까지 적용되고 있다.

<그림 9>의 Pinhole, <그림 10>의 매우작은 Pinhole, <그림 13>의 Scratch의 세가지 결함을 실험한다.

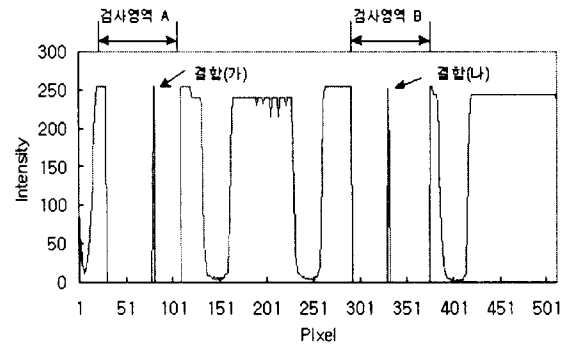
우선 <그림 9>의 결함(가), <그림 10>의 결함(나)를 분석하기로 한다. 다음 <그림 11><그림 12>는 실제 유리에 발생한 결함이 존재하는 화상과 결함부위의 화소값을 보였고, 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 처리 후 화소값을 비교하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 결함부분의 원래 화소 값은 미소하지만 화상처리후의 화소형태는 확연하게 결함부를 판별할 수 있음을 알수있다.



<그림 9> 결함(가) : Pinhole

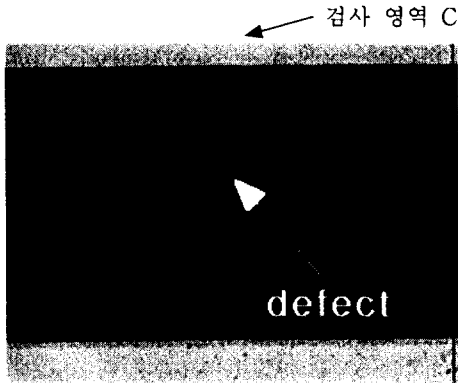


<그림 11> 결함(가),(나) : 영상처리 전의 화소값

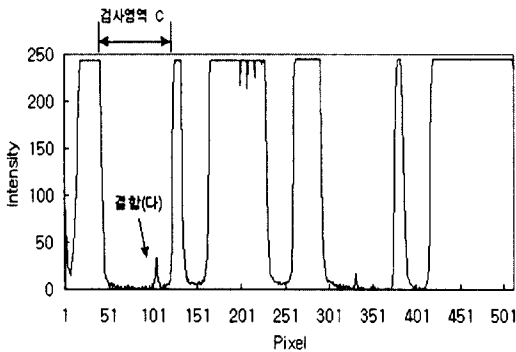


<그림 12> 결함(가),(나) : 영상처리 후의 화소값

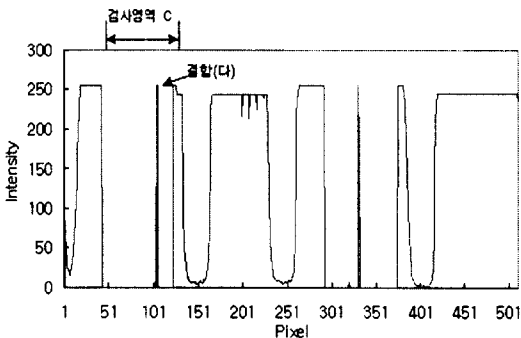
<그림 9>에서의 핀홀 결함은 크기가 약 0.008(inch) 정도이고 <그림 10>의 경우는 약 0.002(inch) 정도의 매우 작은 핀홀이다. <그림 11>에서 작은 강도를 가진 신호가 영상처리를 통해 <그림 12>에서 보이듯이 강도가 크게 키워지고 잡음과는 완전히 구별되어 <그림 10>경우와 같이 결함 판정치 (0.02 inch) 보다 작은 핀홀도 감지가 가능하다.



<그림 13> 결함(다) : Scratch



<그림 14> 결함(다) : 영상처리 전의 화소값



<그림 15> 결함(다) : 영상처리 후의 화소값

<그림 13>의 결함(다)에서 굵은 선의 결함(스크레치)은 폭이 약 0.004(inch) 정도 이다. <그림 14>에서 작은 강도를 가진 신호가 영상처리를 통해 <그림 15>에서 보이듯이 미소한 스크레치 결함 경우에도 강도가 크게 키워지고 잡음과는 완전히 구별된다.

## 6 결론

현재 산업 현장에서의 일반적인 결함 판정 기준은 0.02(inch) 이상이며, 실험을 통한 본 연구에서 제안한 시스템의 검사한계가 0.002(inch)임을 알 수 있었다. 그러므로 결함 측정 결과 일반적인 판정 기준보다 훨씬 작은 크기의 결함을 잘 감지할 수 있다는 것을 알 수 있다.

이 화상처리 알고리즘을 이용하여 현재 사람이 육안으로 검사하고 있는 작업을 자동화하면 핀홀이나 스크레치 등의 결함들을 선별하여 검사 정확도가 증가되고 적은 인원으로 생산성 향상이 기대된다.

## 참고문헌

- (1) 유영기, 조형석, "광센서를 이용한 3차원 경면 물체의 형상인식" 대한기계학회 논문집 19(10) 2440~2455, 1995
- (2) Y.K.Ryu, H.S.Cho, "A new Optical Sensing System for Obtaining 3D Shape of Specular Objects" Optical Engineering 35(5) 1483~1495, 1996
- (3) Y.K.Ryu, H.S.Cho, "A new Optical Measuring System for Solder Joint Inspection" Optics and Lasers Engineering 26 487~514, 1996
- (4) 나현찬, 유영기, 노병욱, 조형석, "인공지능 기판의 패턴검사용 조명장치 설계" 대한기계학회 21(1), 1996
- (5) 안성섭, 유영기, 노병욱, 조형석, "인공지능 기판의 결함검출 및 인식알고리즘" 제어.자동화시스템 공학회 논문집 2(9) 337~343, 1996
- (6) 편영식, 정경민, "CNC Glass Scribing Machine 개발: Free Curve Scribing 용" 한국공작기계기술학회, 1995 춘계학술대회 논문집
- (7) 편영식, 여진옥, "고속 CNC Scribing Machine의 개발에 관한 보고" 한국공작기계기술학회, 1996 춘계학술대회 논문집
- (8) 서울대학교 광학연구회, "현대광학" (주)교문사
- (9) 장경애, "광학" 도서출판 상학당
- (10) Dena.H.Ballard, "Computer Vision" Kala Corporation