

## Vision System 을 이용한 광섬유 코팅 결함 검출 System 구현 Implementation of a System for Detecting Defects on Optical Fiber Coating

°서상일\*, 최우창\*, 김학일\*

\*인하대학교 자동화 공학과

(Tel : (032)860-7385; Fax : (032)863-4386; E-mail: sangil@vision-auto.inha.ac.kr)

**Abstracts:** 광섬유는 코어(Core), 클래드(Clad), 그리고 1, 2 차 코팅(Coating)으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 광섬유의 코팅에 생기는 결함의 유무 및 종류와 크기를 분류하는 Vision System 을 구현하였다. 전처리 과정으로, CCD Camera 를 이용하여 얻은 화상에 대하여 Sobel 연산자로 경계선을 추출하고, 문턱값(Threshold Value)을 적용하여 이진 화상을 만든다. 외경 정보 추출을 위하여, 투영 정보, 수리 형태학(Mathematical Morphology)적 연산을 수행하고, 결함의 종류와 크기를 효율적으로 분류하도록 Tree Classifier 를 설계하였다. 실험 결과로서 각 결함 별 오차율, 전체 오차율(Total Error Rate) 등을 제시하였다.

**Keywords:** Machine Vision, Inspection, Tree Classification, Optical Fiber Coating Defects

### 1. 서 론

통신의 고속화가 필수적인 정보화 시대를 맞이하여, 외국을 비롯한 우리나라도 초고속 정보 통신망 구축을 위한 노력을 활발하게 진행하고 있다. 정보통신부는 2015년까지 완료되는 초고속 정보 통신망을 구축키로 종합 계획을 발표했다. 이 계획은 초고속 국가 정보 통신망 구축, 응용 및 요소 기술 개발, 그리고 초고속 공중 정보 통신망 구축 등이 포함되어 있다. 특히 초고속 국가 정보 통신망은 통신 사업자의 광케이블 시설을 최대한 활용하는 계획을 갖고 있다. 그러므로 광전송 관련 기기의 수요는 급속히 증가할 것이다<sup>[1]</sup>.

현재, 우리나라의 광전송 관련 제품 중 광섬유 제조 업체의 대부분은 미국 및 일본에 기술 종속적인 합자 회사이다. 곧 통신 시장의 전면 개방을 눈 앞에 두고 있어, 우리나라 시장에 외국 업체들의 독립적 참여가 예상되고 있다. 그러므로 통신 매체 관련 기업의 연구 개발이 대폭 확대되어야 하며, 품질 및 생산력 향상을 위한 독자적인 기술 개발이 요구된다.

이에 본 연구는 광섬유 생산자동화를 위한 선행 연구로서, 광섬유 코팅의 결함을 자동 검색하는 비전시스템을 개발하는데 목적을 두고 있다. 본 논문에서는 디지털 화상처리의 다양한 기법들을 이용하여 결함 자동 검색을 위한 고속의 비전시스템을 구현하여 광섬유 코팅 결함에 관한 기본 정보 획득에 중점을 두고 있다.

#### 1.1 광섬유의 구조

광섬유는 그림 1에서 보는 바와 같이, 굴절률이 큰 코어, 굴절률이 작은 클래드, 그리고 1차 코팅(Primary Coating), 2차 코팅(Secondary Coating)으로 이루어져 있다.

- 코어와 클래드 - 정보가 전달되는 부분으로 석영(Silica Glass), 다성분유리(Multicomponent Glass), Plastic, Plastic Clad Fiber, Plastic Fiber 등으로 만든다.

- 1차 코팅 - 광섬유 소선(素線)의 강도를 증가시키기 위해, 규소수지(Silicon Resin), Urethane, Epoxy 등을 입힌다.
- 2차 코팅 - Microbending 손실을 적게 하기 위해, Nylon, Polyethylene, Polycarbonate 등을 입힌다<sup>[2][3]</sup>.

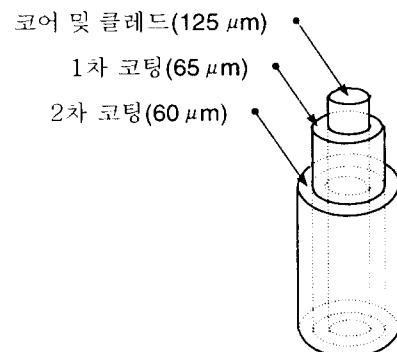


그림 1. 광섬유의 구조.

Fig 1. The structure of optical fiber.

#### 1.2 광섬유 코팅 결함의 종류

광섬유 코팅의 결함은 광섬유에서 신호를 전송할 때 에러를 유발하고, 광섬유를 쉽게 파손시키는 원인이 된다. 광섬유의 외경은  $250\pm 5\mu\text{m}$  이다. 다음은 총 4 가지로 구분되는 광섬유 코팅상 결함의 종류, 정의, 및 허용 한계이며, 그림 2는 각각의 결함의 예를 화상으로 보여주고 있다.

- Blow-Out : 1차 또는 2차 코팅이 터져 나온 곳으로, 광섬유의 외경이 급격하게 변하는 특성을 갖는다. (허용 한계 : 길이  $125\mu\text{m}$  이하)
- Neck-down : 1차 코팅이 줄어든 것으로, 광섬유의 외경이 완만하게 변하는 특성을 갖는다. (허용 한계 : 길이

245 $\mu\text{m}$  이하. 단, 1차 코팅이 단절된 곳은 길이에 관계없이 결함으로 인식함)

c. Bubble : 코팅 내부에 기포가 존재하는 것으로, 빛이 광섬유를 통과할 때 굴절되어 이미지 상에 검은 구(球) 형태로 나타난다. 광섬유의 외경은 변하지 않는다.(허용 한계 : 직경 10 $\mu\text{m}$  이하)

d. Delamination : 코팅과 클래드 사이에 분열된 부분으로 외경이 변하지 않으며 코팅 사이가 들뜬 특징을 보인다.(허용 한계 : 길이 250 $\mu\text{m}$  이하, 두께 15 $\mu\text{m}$  이하)

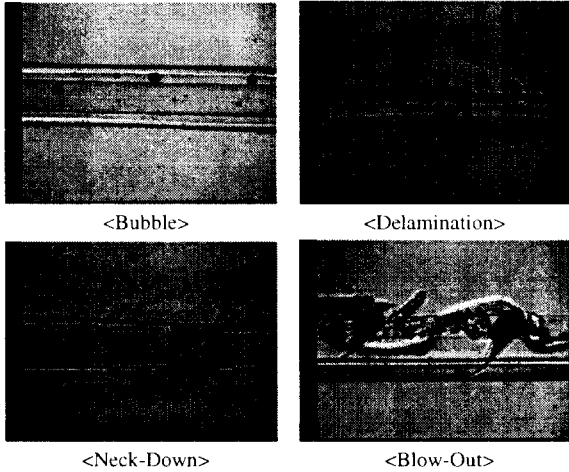


그림 2. 광섬유 코팅상 결함의 종류.

Fig 2. Types of defects on optical fiber.

## 2. 본 문

### 2.1 광섬유 코팅 결함의 검출 방법

현재 국내 업체에서 광섬유 코팅 결함 검출을 위하여 사용하고 있는 방법은 단순히 완제품 광섬유를 무작위로 표본 추출하여 직접 눈으로 검색하는 육안에 의한 검출 방법이다. 이 방법은 전수 검사가 불가능하고, 표본 추출에 의한 방법 이므로 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다. 미국과 같은 선진국에서는 이미 레이저와 홀로그램과 같은 광학기법을 이용한 자동화 시스템<sup>[4]</sup>이 상용화 되어 온라인으로 전수검사를 가능하도록 하고 있지만 가격이 너무 비싸기 때문에 국내 도입이 어려운 실정이다.

레이저와 광센서를 이용한 방법은 레이저광이 광섬유를 수직으로 통과하면 정상 광섬유와 결함이 있는 광섬유 사이에 서로 다른 전방 산란무늬를 나타내는 점을 이용하여 결함의 유무 및 종류를 알 수 있다. 이 방법은 전수 검사가 가능하고, 국내에서도 결함의 유무를 검출하는 연구는 이미 수행되었고, 결함의 종류를 구별하는 연구가 수행되고 있다<sup>[5]</sup>.

본 연구에서 구현하는 방법은 현미경과 Vision System을 이용하여 얻어진 광섬유의 확대 화상을 처리하여 코팅 결함의 종류 및 크기까지 검출하는 방법으로서, 전수검사도 가능하고 신뢰성도 있지만, 처리속도가 느리고 Index Matching Oil을 통해 광섬유 화상을 얻어야 하는 불편이 있다.

### 2.2 구현된 시스템

본 논문에서는 삼안현미경과 CCD 카메라를 이용하여 광섬유의 확대된 화상을 얻고, 결함의 종류 및 크기를 검출하는 화상처리 기법들을 프로그래밍하였다. 이 방법은 화상 획득시 불편함이 있지만, 신뢰성과 유연성이 있으며 컴퓨터 하

드웨어 발전에 따라 실시간 처리로 발전하는 기반이 된다.

본 연구에서 개발된 비전시스템은 Pentium-100MHz를 기반으로 삼성 MVB02 프레임 그래픽, 삼안현미경(x10), CCD 카메라 등으로 구성되어 있으며, 광섬유를 자동으로 이동시키는 휠은 컴퓨터의 직렬 통신으로 제어되는 스텝핑 모터로 구동되며, 구경 500 $\mu\text{m}$ 의 광섬유 지지대는 광섬유의 위치 편차를 방지하도록 설계되었다.

화상을 획득하는 프로그램은 Borland C 환경에서 MBV02가 제공하는 라이브러리를 사용하였고, 화상 처리 및 결과 분석하기 위한 프로그램은 Windows 환경에서 MS-Visual C++로 구현하였다.

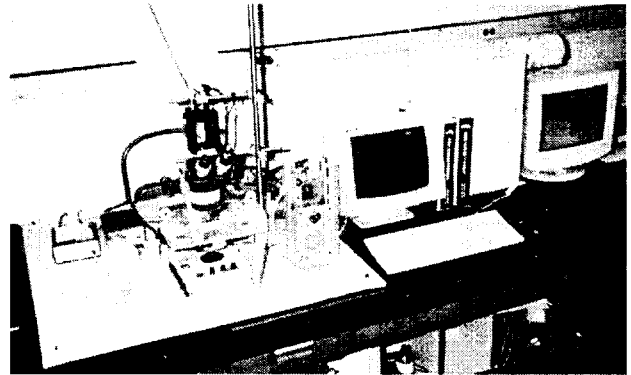


그림 3. 개발된 광섬유 코팅 결함 검출 비전시스템.

Fig 3. Developed vision system for detecting defects on optical fiber coating.

### 2.3 처리 과정

- 화상 획득 - Serial Port를 통하여 Stepping Motor에 구동 신호를 출력하여 광섬유를 1 Frame(1000 $\mu\text{m}$ ) 이동시킨 후 화상을 얻는다.
- 이진 영상 작성 - Sobel 연산으로 전체 외곽선 정보를 얻는다. 조명의 영향을 이진 영상 작성시 문턱값<sup>0</sup>에 반영하기 위해, 원 광섬유 화상의 배경 부분의 평균을 문턱값<sup>0</sup>으로 사용하여 이진 영상으로 만든다.
- 경계 정보 추출 - 위 단계에서 얻은 이진 영상을 화상의 가로 방향으로 광섬유와 평행한 방향으로 투영시킨 정보에 대해 Opening 연산을 실시해 "경계선 정보"를 얻는다. Opening 연산의 목적은 투영 정보의 변화율이 급격하지 않도록 하기 위함이다<sup>[6]</sup>.
- 결함 분류 - 아래에 설명하는 Tree Classifier를 이용하여 결함을 분류하였다.

### 2.4 Tree Classifier 구조 검색

화상 획득에서부터 경계 정보 추출을 마친 후 얻어진 광섬유의 특징값들을 기반으로 다음의 결정 함수 및 문턱값을 사용하여 결함을 판단한다<sup>[7]</sup>.

- 분기 1 : 결정 함수<sup>1</sup>는 외경 데이터가 존재할 가상 부분에 외경으로 인식할 문턱값<sup>1</sup> 이상의 투영 정보를 가지는지 검사한다. 문턱값<sup>1</sup>으로 가로 화소 수의 40%를 사용하였다. 함수 수행 결과가 문턱값<sup>1</sup> 이상인 경우는 정상 외경으로, 이하는 비정상 외경으로 판정한다.
- 분기 2 : 결정 함수<sup>2</sup>는 내부 결함의 유무를 검출된 경계외(外) 정보가 문턱값<sup>2</sup>을 넘는지 검사한다. 문턱값<sup>2</sup>은 결함으로 인식되는 가장 작은 크기인 버블의 허용 한계(10 $\mu\text{m}$ )를 사용하였다. 문턱값<sup>2</sup> 이상은 결함이 존재하는 것으로, 그 이하는 정상 광섬유로 판정한다.

- c. 분기 3 : 결정 함수<sup>3</sup>는 실제 외경 정보의 불균일한 정도를 검사한다. 구현은 외경 정보들 간의 값(화소의 위치)의 차이로 했으며, 문턱값<sup>3</sup>으로 4 화소 차이를 사용하였다. 문턱값<sup>3</sup> 이상은 블로우 아웃, 이하는 넥다운으로 판정한다.
- d. 분기 4 : 결정 함수<sup>4</sup>는 각 결함이 원형에 가까운 정도를 검사한다. 구현은 검출된 결함 정보의 가로/세로의 비를 산출하여 문턱값<sup>4</sup>을 비교한다. 문턱값<sup>4</sup>으로 가로/세로의 비 150%를 사용하였다. 함수 수행 결과가 문턱값<sup>4</sup> 이상인 경우는 딜레미네이션으로, 이하는 버블로 판단한다.

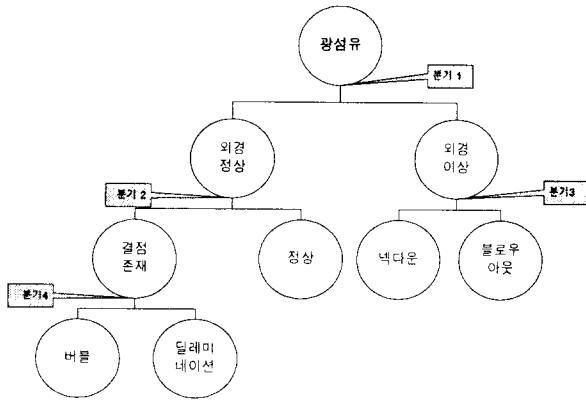


그림 4. 광섬유 코팅 결함 검출을 위한 Tree Classifier.  
Fig 4. Tree classifier for classifying defects on optical fiber coating.

### 3. 실험 결과

실험을 수행하면서 화상 획득 과정에서 나타난 다음의 여러 요소들이 결과에 영향을 주는 것을 발견하였다.

첫째, 현미경을 통하여 얻은 화상의 명암 차이(Contrast)가 크지 않기 때문에 조명이 화상 처리에 민감한 영향을 주었다. 그림 5(a)는 처리에 용이한 조명을 받은 경우이고, 그림 5(b)는 적절하지 못한 조명으로 광섬유와 배경 또는 광섬유와 결함간의 명암 차이가 적어져 처리하기 어려워진다.

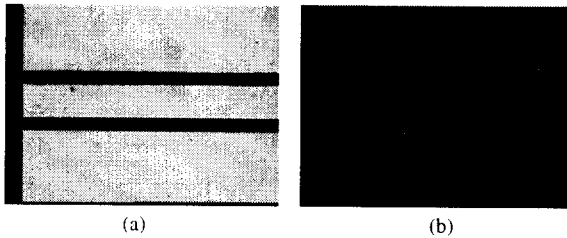


그림 5. 조명이 다른 두 화상 비교.  
Fig. 5. Comparison between two images of different illumination.

둘째, 초점 거리도 처리에 중요한 영향을 미치는 변수임을 알 수 있다. 초점 거리는 화상의 선명한 정도를 결정한다. 초점 거리가 틀리면 경계 부분의 명암값 변화가 완만해져 광섬유 및 결함의 경계 정보를 찾기 어렵게 된다. 그림 6(a)과 그림 6(b)는 초점이 맞은 경우와 그렇지 않은 경우를 보여주고 있다.

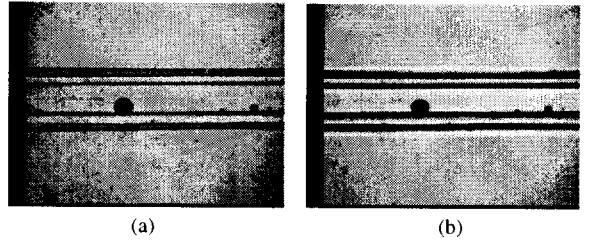


그림 6. 초점이 다른 두 화상 비교.  
Fig. 6. Comparison between on-focusing image and out-of-focusing image.

셋째, 인덱스 매칭 오일의 종류에 따라 결과가 달라진다. 광섬유의 굴절률과 유사할수록 코팅, 결함 등의 경계 정보가 선명해짐을 알 수 있다. 가지고 있다. 그림 7(a)은 광섬유와 비슷한 굴절률의 용액을 인덱스 매칭 오일로 사용한 것이고 그림 7(b)는 물을 인덱스 매칭 오일로 사용한 결과를 나타낸다.

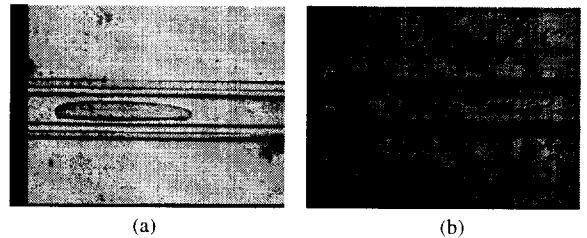


그림 7. 인덱스 매칭 오일 종류가 다른 두 화상 비교  
Fig. 7. Comparison between two images over different index matching oils.

다음은 위의 영향 요소를 고려하여 얻은 결함 화상들에 대한 실험 결과이다.

- a. 버블(Bubble) - 외경이 균일하고 광섬유 내부에 존재하는 결함의 가로와 세로의 비가 비슷한 경우를 버블로 판단했다. 대부분의 버블에 대해 옳은 판단을 내렸다. 틀린 판단은 현미경이나 렌즈의 이물질이 존재하는 경우에 발생했다. 이는 문턱값<sup>1</sup>의 변경 등으로 바른 판단이 가능하다.

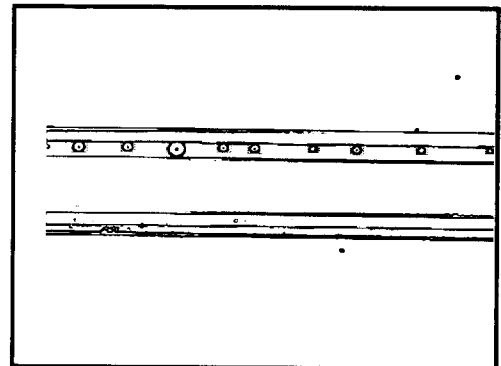


그림 8. 버블 검출 결과.  
Fig. 8. Result of detecting bubbles.

- b. 딜레미네이션(Delamination) - 외경이 균일하고 광섬유 내부에 존재하는 결함의 형태가 가로가 긴 특징을 보이는 경우이다. 결과는 양호하며, 틀린 판단을 내리는 경우는 딜레미네이션 경계 부분의 명암이 광섬유와 비슷하기 때문에 경계가 확실하지 않을 때이다. 경계가 확실하지 않으면 하나의 딜레미네이션이 여러 개의 결함으로 판정된다. 이 경우 이진 화상을 만드는

문턱값<sup>0</sup>을 낮춤으로써, 경계로 인식되는 부분을 증가시키면 올바른 판단이 가능하다.

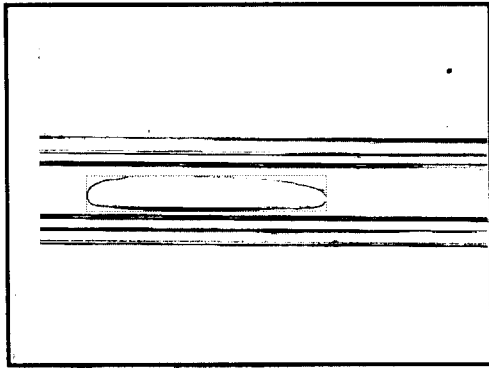


그림 9. 딜레미네이션 검출 결과.  
Fig 6. Result of detecting delamination.

- c. 넥다운(Neck Down) - 외경이 완만하게 변하는 특징을 가진다. 구분한다. 결과는 대체적으로 양호하고, 틀린 판정은 광섬유에 인접한 작은 크기의 노이즈는 의해 블로우 아웃으로 판정되는 경우에 발생한다. 이는 일정 크기 이하의 노이즈를 제거하는 전처리를 함으로써 해결 가능하다.

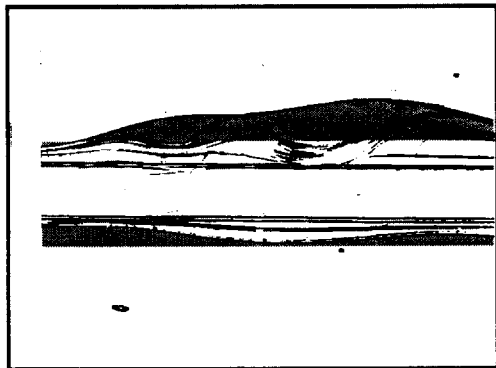


그림 10. 넥다운 검출 결과.  
Fig 10. Result of detecting neck-down.

- d. 블로우 아웃(Blow Out) - 넥다운과 동일하게 외경이 변하지만, 그 변화가 부드럽지않고 급격한 특징을 가진다. 결함에 대해 실험 화상은 모두 옳은 판단을 내렸다.

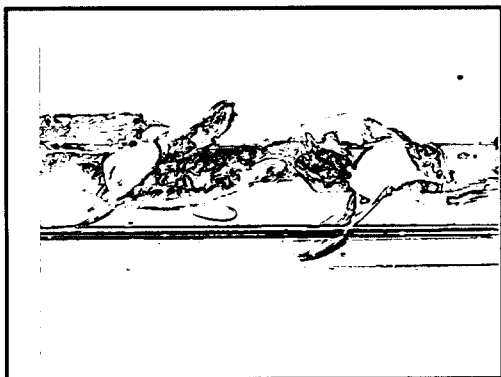


그림 11. 블로우 아웃 검출 결과.  
Fig 11. Result of detecting blow-out.

결함 분류의 오차율은 표 1에서 보여주고 있다. 버블과 딜레미네이션은 각각 30 장의 화상에 존재하는 결함(각각 150

개, 38 개)을 대상으로 실험한 결과를 나타냈다. 넥다운, 블로우 아웃, 정상에 대해서는 화상(Frame) 단위로 실험한 결과이다.

표 1. 각 형태 별 및 전체 오차율(%)  
Table 1. Error Ratios (%) Relation to the Defect Type And Total

결함 형태	TEST	이상 판정	오차율(%)
버블	150 (개)	20	13.3
딜레미네이션	38 (개)	6	15.8
넥다운	30 (Frames)	3	10.0
블로우 아웃	30 (Frames)	0	0.0
정상	30 (Frames)	0	0.0
Total	278 (개)	29	10.4

#### 4. 결 론

실험에서 사용한 3안 현미경은 점광원을 사용하므로 가운데 부분이 밝고 주변이 어두운 이미지가 획득된다. 따라서 더 정확한 결함의 분류를 위해, 전처리 과정에서 획득된 이미지에 대한 평활화를 실시 해야 할 것이다. 광섬유는 직경이 작기 때문에 정확한 위치 정보를 확보할 수 있는 지지대가 필수적이다. 그리고, 현미경 광원의 세기는 일정한 수치로 정하기 어렵기 때문에 이진화 단계에서 사용하는 문턱값<sup>0</sup>, 결정 함수들의 문턱값<sup>1-4</sup> 등을 고정 시키기 어렵다. 따라서 조명 등의 실험 환경 변수들에 대한 정량화가 이루어지면 실험 데이터 간의 정확한 비교가 가능해질 것이다. 그 밖에 정밀하게 광섬유 이동을 제어할 수 있는 장비 갖출다면 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

본 논문에서는 Tree Classifier 구조를 갖는 검색 프로시저를 실행하여 광섬유 결함 검색 시스템을 구현하였다. 실험 결과 광섬유 결함 정보에 대한 분석 능력을 얻었다. 이는 실시간 검색 시스템 구현에는 검증의 도구로써 사용 가능할 것이다.

향후 계획은 다(多) 방향에서의 데이터 입력으로 더 정확한 결과 산출, Line Scan Image 및 DSP를 이용한 처리 속도의 개선, 등이 있다. 궁극적인 목표는 광학을 이용한 실시간 검색 시스템 구현에 있다.

#### 참고문헌

- [1] 손병태, 광통신 공학, 세진사, pp19~35, 1995.
- [2] 오신무, 광통신, 하이테크정보, pp15~24, 167~182, 1994.
- [3] 오고시 다카노리, 광일렉트로닉스와 광통신, 현대과학신서, 1984.
- [4] Tai Holographic Electro-Optical Systems, Tai Inc, 1993.
- [5] 이신계 외 4, "광섬유의 레이저 산란 무늬를 이용한 광섬유의 결점 실시간 검출", 신호처리합동학술대회 논문집 제 7 권 1 호, pp585~588, 1994.
- [6] Rafael C. Gonzalez & Richard E. Woods, Digital Image Processing, pp518~560, 1993.
- [7] Robert M. Haralick & Linda G. Shapiro, Computer and Robot Vision I, pp 131~141, 1992.