

## Laser Slit Beam을 이용한 광학용 반사경 유리 결함 검사방법에 관한 연구

구마끼\*, 유영기\*\*, 정경민\*\*\*, 편영식\*\*\*

A Study on the Defect Inspection of Optical Mirror using Laser Slit Beam.

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

\* 선문대 대학원, \*\* 선문대 전자정보통신공학부, \*\*\* 선문대 기계 및 제어공학부

### 1. 서론

광학용 반사 유리는 레이저 프린터나 복사기, 팩스등 광학용기기에서 화상을 재현하는 데 사용되는 주요 부품이다. 따라서 광학용 반사유리의 반사 품질에 따라 재현되는 화상의 품질이 좌우된다. 광학용 반사 유리는 유리판에 얇은 반사막을 코팅처리하여 제작되게 되는 데 반사면의 보호를 위해 반사면에 보호용 비닐 테이프가 부착된 상태에서 필요한 형상과 치수로 절단되고 실제 기기에 설치하는 시점에서 보호용 비닐 테이프를 떼어내게 된다.

광학용 반사 유리는 코팅과정이나 절단등 취급 과정에서 반사면은 물론 유리면에 결함이 발생할 수 있다. 반사면에는 외부와의 접촉에 의해 코팅부가 유리면으로부터 이탈되어 250 $\mu$ m이상의 작은 원형의 핀홀 결함이나 선형의 스크래치 결함등이 발생할 수 있으며 외부 충격에 의해 코팅이 유리면과 분리되었으나 보호 테이프에 의해 유리면에서 이탈되지 않고 남아있는 상태인 일명 조개무늬 결함도 발생하게 된다. 조개 무늬 결함의 경우 보호 테이프를 벗겨낼 경우 코팅이 보호 테이프와 함께 유리면에서 이탈되기 때문에 주요 결함으로 분류되고 있다. 이외에도 외부 충격에 의해서 유리의 모서리 부가 깨지거나 비스듬하게 절단되는 외관 불량도 발생하게 된다.

이와 같은 결함이 있는 광학용 반사 유리를 제거하기위해서 절단후 품질 검사를 하게 되는 데 반사면에 부착된 보호용 비닐 테이프를 떼어낼 수 없기 때문에 직접적으로 반사도등을 측정할 수 없다. 따라서 코팅부의 손상 여부와 유리면의 깨짐등을 육안 검사하게 되는 데 육안 검사의 경우 작업자의 숙련도, 피로도등에 따라 검사 오류가 발생할 가능성이 높기 때문에 신뢰성있는 검사 자동화 방법이 요구되고 있다.

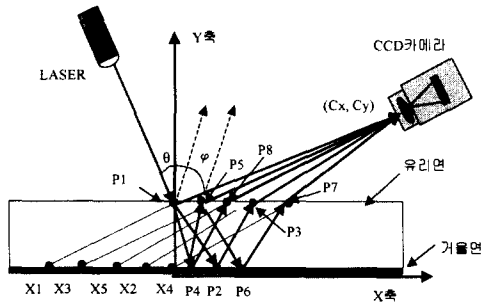
기존 연구[7]에서는 반사 유리의 유리면에 빛을 방사시키고 반사면 쪽에서 CCD카메라를 이용하여 투과된 빛을 획득하는 방식을 사용한 바 있다. 이와 같은 방식은 반사 코팅이 유리면으로부터 완전히 이탈된 경우 빛이 투과하게 되는 원리를 사용한 것이므로 핀홀 결함이나 스크래치 결함등을 검출하는데 있어서 매우 신뢰성있는 검사를 할 수 있다. 하지만 일명 조개무늬 결함과 같이 유리면과 분리된 코팅이 유리면에 그대로 위치하는 경우에는 빛이 투과 하지 않기 때문에 검출이 불가능하다. 이와 같은 결함을 육안 검사할 경우에는 유리면과 분리된 코팅면이 불균일함으로 인해 불균일하게 반사되는 빛을 이용하고 있다.

따라서 본 논문에서는 레이저 슬릿 빔을 유리면에 방사하고 반사된 빛을 CCD카메라로 획득하여 결함을 검출할 수 있는 방안에 대해 기술하고 있다.

## 2 광로 해석

Slip Beam은 반사경 유리의 결함에 입사되면 난반사 성분(Lambertian Component)과 경면반사 성분(Specular Component)이 반사된다. 본 연구에서는 난반사 성분을 이용하여 반사경 유리 결함 검사의 실험을 수행한다. 난반사된 빛의 유리면과 거울면의 결함 영상을 CCD카메라에서 검출하는 실험을 통하여 Laser Beam의 입사각도  $\theta$ 와 CCD카메라의 위치에 따른 영상을 예측하여 결함검출을 위한 화상처리 알고리즘에 적용하기 위하여 아래와 같은 광로 해석을 행하였다.

(그림 2.1)은 CCD카메라에 검출이 되는 모든 결함 영상의 광로를 총합적으로 표시하였다.



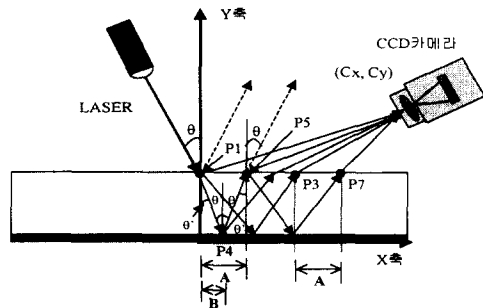
(그림 2.1) CCD카메라에 검출이 되는 모든 결함 영상의 광로

유리면의 결함 영상은 X1위치의 가상적인 영상으로 검출할 수 있으며 거울면의 결함 영상은 X5위치의 가상적인 영상으로 검출할 수 있다. [1], [2], [4]

결함 위치와 광로	
1	유리면 상에서 첫 방사 위치(P1)에 결함이 존재하는 경우의 광로 (1)Laser-P1-CCD카메라 (2)Laser-P1-P2-P3-CCD카메라
2	방사 빛이 거울면에서 경면 반사하여 유리표면에 도달하는 점(P5)에 결함이 존재하는 경우의 광로 (1)Laser-P1-P4-P5-CCD카메라 (2)Laser-P1-P4-P5-P6-P7-CCD카메라
3	방사 빛이 거울면에서 경면 반사하는 점(P4)에 결함이 존재하는 경우의 광로 (1)Laser-P1-P4-P8-CCD카메라

(표 2.1) 결함 위치와 광로

Laser Slit Beam의 입사각도  $\theta \rightarrow 0$ 의 경우 X1, X2, X3, X4의 유리면 결함의 네개 영상이 겹쳐서 두 개로 된다. 다음에 발생하는 광로의 변화를 논술한다.



(그림 2.2) 입사각도  $\theta$ 와 A, B의 거리

P1, P5의 거리와 P3, P7의 거리를 A라 하고 P1과 P4의 거리를 B라 하여 Snell의 법칙을 적용하면 Laser의 입사각도  $\theta$ 와 거울면에서 경면 반사하는 각도  $\theta'$ 의 관계식은 [1], [2]

$$\sin \theta = n \cdot \sin \theta'$$

$$\tan \theta' = \sin \theta / \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}$$

A, B는  $\theta, \theta'$  반사경 유리의 두께 t로 하면

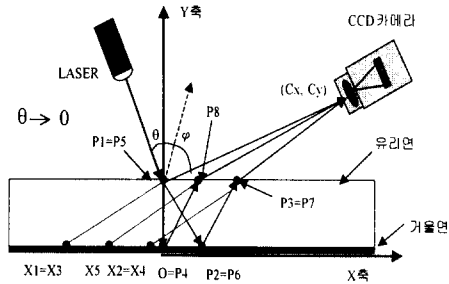
$$A=2t*\tan \theta '=2t*\sin \theta / \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta^2}$$

$$B=t*\tan \theta '=t*\sin \theta / \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta^2}$$

과 같이 표현할 수 있다.

$\theta \rightarrow 0$ 의 경우 다음 극한값을 구할 수 있다.

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} A=0, \quad \lim_{\theta \rightarrow 0} B=0$$



(그림 3.2.3.2)  $\theta \rightarrow 0$ 의 경우 발생하는 광로 변화

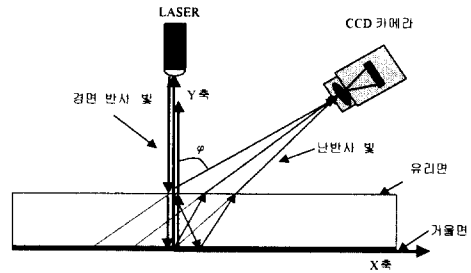
(그림 2.3)에서 보인 바와 같이  $\theta \rightarrow 0$ 의 경우  $A=0, B=0$ 가 됨으로서 유리면 거울면 상의 각 위치는  $P1=P5, P2=P6, P3=P7$ 가 되며 가상의 영상은  $X1=X3, X2=X4$ 가 된다. 그것은 네개 보이던 유리면 결함의 가상의 영상이 겹쳐서 두개 가 된 것처럼 보이는 것을 의미한다.

반사된 영상이 겹침으로 영상의 Intensity가 높게 된다. CCD카메라에서 보다 강한 Intensity의 결함 영상을 검출할 수 있다.

하지만 (그림 2.4)에서 보인 바와 같이  $\theta = 0^\circ$ 의 경우에는 Laser 빛이 반사경 유리에 수직으로 입사하여 유리면 결함 영상에 간섭 현상이 나타난다. 반사경 유리에 입사하는 빛과 거울면에서 반사하는 빛은 방향이 반대의 동일한 광로가 된다. 방향이 다른 동일한 광로 사이에 간섭현상이 나타난다.

유리면 결함검사에 오류 발생을 방지하기 위하여  $\theta = 0^\circ$ 에서의 결함검사를 피해야한다.

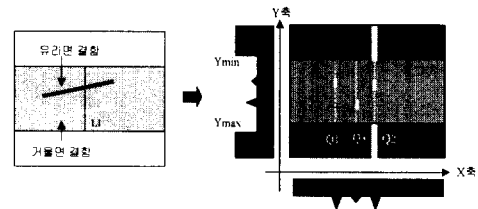
네개 존재하는 유리면 결함의 가상의 영상이 겹쳐서 두개 가 된 것처럼 볼 수 있다.



(그림 2.4)  $\theta = 0^\circ$ 의 경우의 광로

### 3. 화상처리 알고리즘

#### 3.1 결함검출을 위한 결함 영상위치의 Alignment



(그림 4.1.3) CCD카메라에서의 결함 영상과 Projection

CCD카메라의 2차원 영상에서  $X1=X3$ 의 가상의 영상을 Q1,  $X2=X4$ 의 가상의 영상을 Q2,  $X5$ 의 가상의 영상을 Q3로 정한다.

Q1의 위치에서의 영상을 Scanning 하면 유리면 결함을 검출할 수 있으며 Q3의 위치에서 영상을 Scanning 하면 거울면 결함을 검출할 수 있다.

Q1, Q3의 영상을 Scanning하기 위하여 (1) 반사경 유리가 존재하는 영역과 (2) Scanning 할 Q1, Q3의 위치를 Computer에서 인식해야한다.

(1) CCD카메라에서 나타나는 2차원 영상에서 Projection 처리를 하여 반사경 유리가 존재하는 영역을 인식한다.

2차원의 일정한 영역 영상에서 X축이나 Y축의 어느 한축의 각 값에 대한 다른 한축의 전 영역에서 Intensity의 Pixel수를 합한 총 Pixel수를 구하는 처리를 Projection이라고 한다.

Y축에 대한 Projection처리를 하여 반사경 유리가 존재하는 영역을 자동으로 인식한다. Y축에서 각 Y값에 대한 X축 전 영역에서 Intensity의 Pixel수를 합한 총Pixel수를 구한다. (그림 3.1) 좌측은 Y축 Projection 결과의 그림이며 이 그림 Y축 (+-)양방향의 Pixel 최대 값은 반사경 유리 외부의 검사대에서 반사하는 높은 Intensity의 빛이 때문에 나타난다. Y축 (+)방향에서의 최대 값을 Ymin으로 정하여 Y축 (-)방향에서의 최대 값을 Ymax으로 정한다. Ymin에서 Ymax까지는 2차원 영상 영역 중에서 반사경 유리가 존재하는 Y축 영상 영역 범위를 의미한다.

(2) X축에 대한 Projection 처리를 하여 Scanning할 Q1, Q3의 위치를 인식한다.

반사경 유리의 Ymin에서 Ymax까지의 범위에서 각 X값에 대한 Y축의 전영역에서 Intensity의 Pixel수를 합한 총Pixel수를 구한다. (그림 2.1.1) 우측은 X축 Projection 결과의 그림이다. X축의 Projection처리 후의 Pixel값 중에서 제일 큰값 과 다음에 큰값 2개 값을 구하여 그 두Pixel값에 따른 두X값 중에서 작은 X값은 Q1, 큰 X값은 Q2가 되어 Q1, Q2의 위치를 구할 수 있다. Q3은 Q1과 Q2의 중간 위치로 구할 수 있다.

### 3.2 임계값(th) 처리를 인한 화상의 2진화 (Thresholding)

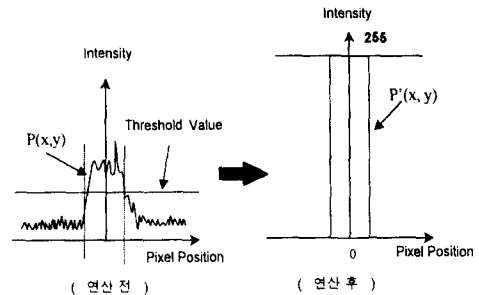
Intensity가 임계값(th) 보다 작은 경우 Intensity를 0으로 변환하여 Intensity가 임계값(t) 이상의 경우 Intensity를 255로 변환한다. Thresholding한 화상은 Intensity가 0과 255의 2진화된다. [3]

임계값(th)의 범위는  $0 \leq th \leq 255$ 이다. 수식으로 정리하면 다음과 같다.

- (1)  $P(x,y) < th$  의 경우  $P'(x,y) = 0$
- (2)  $P(x,y) \geq th$  의 경우  $P'(x,y) = 255$

Q3의 위치에서 Scanning되는 거울면의 결합 영상에서는 실험을 통하여 임계값(th)을 30로 정하여 Thresholding하였다.

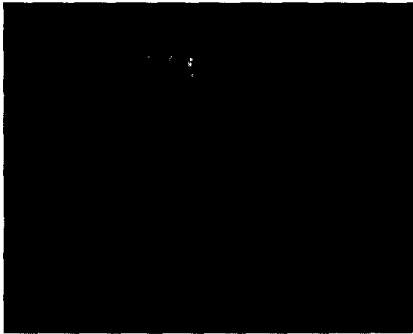
Q1의 위치에서 Scanning되는 유리면의 결합 영상에는 먼지나 지문 자국까지 잡음으로 나타난다. 잡음을 제거하기 위하여 임계값(th)을 거울면의 영상 보다 임계값(th)을 낮게 정할 필요가 있다. 실험을 통하여 임계값(th)을 70로 정하여 Thresholding하였다.



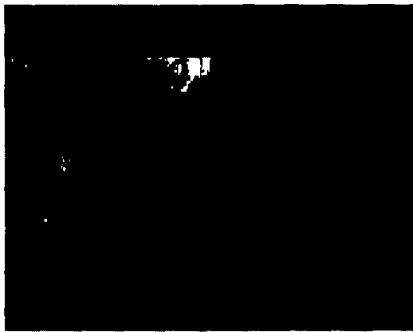
(그림 3.2) Thresholding

#### 4. 결과

##### 4.1 유리면 깨짐의 결함

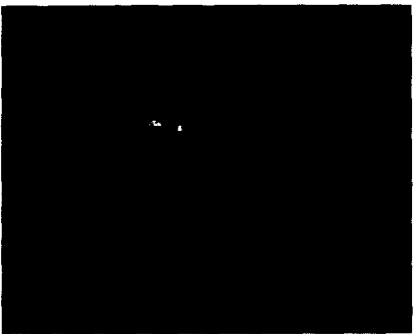


(그림 4.1) 유리면 깨짐의 영상

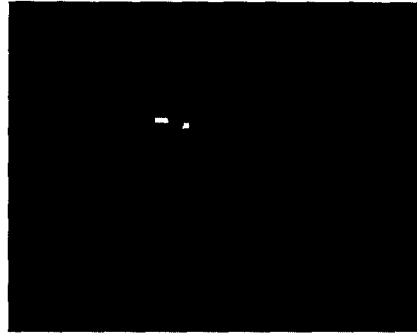


(그림 4.2) Thresholding처리 후의 유리면 깨짐 영상

##### 4.2 유리면 Scratch의 결함



(그림 4.3) 유리면 Scratch의 영상



(그림 4.4) Thresholding처리 후의 유리면 Scratch 영상

##### 4.3 거울면 조개무늬의 결함



(그림 4.5) 거울면 조개무늬의 영상



(그림 4.6) Thresholding처리 후의 유리면 조개무늬 영상

## 5. 결론

광 반사식 실험에서는 거울면의 Pinhole, Scratch 등의 결함 검출은 물론이며 방사 투과식의 실험에서는 검출이 불가능했던 거울면의 조개무늬상, 유리면 깨짐, 유리면 Scratch, 빗각 등의 결함들이 검출이 가능하다.

## 참고문헌

- [1]서울대학교 광학연구회,1996, "현대광학", PP100-121
- [2]장경애, 1992, "광학", PP60-89
- [3]NHK방송기술연구소, 1995, "C언어에 의한 화상처리 실무" PP15-145
- [4]Shoichro Nakamura, 1996, "Applied Numerical Method in C", PP70-76
- [5]정경민, 편영식, 1995, "CNC Glass Scribing Machine", 한국공작기계기술학회
- [6]여진욱, 편영식, 1996, "고속 CNC Scribing Machine의 개발에 관한 보고", 한국공작기계기술학회
- [7]구마끼, 유명기, 정경민, 편영식, 1998, "광학용 유리자동검사기 개발에 관한 연구", PP82-84