

영상처리를 이용한 속업서버 너클 브라켓 홀 검사 방법

정규원*, 안계운⁺

(논문접수일 2010. 09. 27, 심사완료일 2010. 11. 08)

Inspection of the Knuckle Bracket Holes of a Shock-Absorber using Image Processing Method

Kyuwon Jeong*, Kye-Un Ahn⁺

Abstract

Automotive industry is a major business area in this country and it becomes more and more important. In order to maintain high quality of vehicles, every parts should be inspected. Among them the inspection job of the knuckle bracket holes of the outer tube of shock-absorber has been done manually until now. So, it takes long time and every product can not be inspected. An automatized inspection system was proposed utilizing machine vision technology, which was composed of a slit beam laser, CCD camera, image processing computer, special jig and illuminating back lights. An algorithm which could process images of the laser and bracket holes, then gave the position, radius, roundness of the holes, was developed. This system was applied for the good and no good products and the performance was confirmed.

Key Words : Automobile vehicle(자동차), Shock-absorber(속업쇼버), Knuckle bracket holes(너클 브라켓 구멍), Camera(카메라), Laser Slit Beam(레이저슬릿빔), Calibration(캘리브레이션), Roundness(진원도)

1. 서론

우리나라에서 자동차 산업은 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 이는 국내 자동차의 품질이 매우 향상되어 대내외적으로 좋은 평가를 받기 때문이다. 본 논문은 자동차 승차감에 큰

영향을 주는 속업서버의 구성품인 외측 튜브 조립품에 있는 장착용 구멍을 검사하는 방법에 관한 것이다. 너클 브라켓 고정 구멍을 생성 공정은 다음과 같다. 속업쇼버 외측 파이프에 너클 브라켓(Knuckle Bracket)을 압입한 후 MAG 용접을 한다. 용접된 외측 파이프와 브라켓을 지그에 장착한

* 충북대학교 기계공학부 (jeong@chungbuk.ac.kr)
주소: 361-763 충북 청주시 흥덕구 개신동 12번지

+ SK D&D Co., Ltd. SKYHOME 사업본부

후 유압프레스로 펀치를 압입한다. 이 공정에서 몇 가지 불량량이 발생할 소지가 있다. 첫째는 앞의 용접 공정(Fig. 1 A 부분)에서 발생한 스패터(Spatter)가 브라켓 부분(Fig. 1 B 부분)에 튀어서 집착되어 지그에 장착하는 위치가 변동할 수 있다. 두 번째는 장시간 사용하여 펀치가 파손된 경우에는 구멍이 생성이 안 될 경우가 있으며, 세 번째는 마모가 심한 경우에는 구멍의 형상이 진원과 너무 벗어나 사용이 불가능할 수도 있다. 이러한 불량품의 유출을 방지하고자 생산제품에 대하여 일정 시간별로 샘플을 추출하여 Fig. 2에 나타낸 것 같이 V블록과 다이얼게이지, 하이트게이지를 이용하여 수작업 검사를 진행하고 있으며, 이러한 검사방법은 많은 시간이 소요되어 다량의 샘플링 혹은 전수검사가 불가능하여 불량품의 유출을 막을 수 없다. 본 논문에서는 앞에서 언급한 불량 상태를 검사하기 위한 영상처리 방법을 개발하고자 한다. 영상처리 방법은 CCD 카메라가 개발된 이후 영상을 처리하는 많은 방법이 개발되었다⁽¹⁻³⁾. 이 방법은 다양한 결과를 얻을 수 있다는 장점과 비접촉식 방식의 장점 때문에 다양한 분야에 이용되고 있다⁽⁴⁻⁶⁾. Han 등은 기계부품을 비접촉식으로 검사하는 방법을 개발하였으며, Kim 등은 레이

저 다이오드의 불량을 검사하는 방법을 개발하였고, Shin 등은 거리 영상을 이용하여 3차원 표면을 모델링하는 방법을 연구하였다. 카메라에서 얻어지는 영상으로부터 치수에 대한 정보를 획득하기 위하여 카메라 캘리브레이션을 수행하였으며, 이를 통해 얻어진 치수관계 정보를 바탕으로 획득된 제품의 영상을 처리하여 너클 브라켓 구멍의 유무, 위치 정확성, 구멍의 진원도를 검사한다.

2. 너클 구멍 검사 시스템

2.1 시스템 구성

영상처리 방법은 많은 데이터를 처리하여야 하기 때문에 처리 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 이 시간을 단축하여 가급적 짧은 시간 내에 검사결과를 주는 것이 생산성 향상에 중요하다. 따라서 영상처리를 단순하게 하기 위하여 처리 결과를 부합하는 정보들만 갖는 단순한 영상을 획득하는 것이 중요하며, 이를 위하여 대상물에 대한 조명 방법이 큰 영향을 준다. 최적의 영상을 획득하기 위하여 Fig. 3에서 도시한 바와 같이 검사장치를 구성하였다.

제품의 영상을 안정적으로 획득하기 위하여 제품 장착부를 설치하였다. 또한 제품에 대한 최적의 영상을 획득하기 위하여 배후조명 1을 설치하였으며 배후 조명 2는 제품의 중요부분인 구멍 부분의 최적영상을 획득하기 위하여 설치하였다. 제품의 z 방향 위치를 확인하기 위하여 임의의 경사각으로 슬릿빔 레이저를 설치하였으며, 영상을 획득하기 위하여 카메라 거치대에 카메라와 고배율의 렌즈가 설치되었으며, 설치된 카메라로부터 이미지를 획득하고 처리하기 위하여 이미지처리 보드가 내장된 컴퓨터가 설치되었다. 설치된 카메라와 렌즈, 이미지보드의 세부사양은 Table 1과 같다.

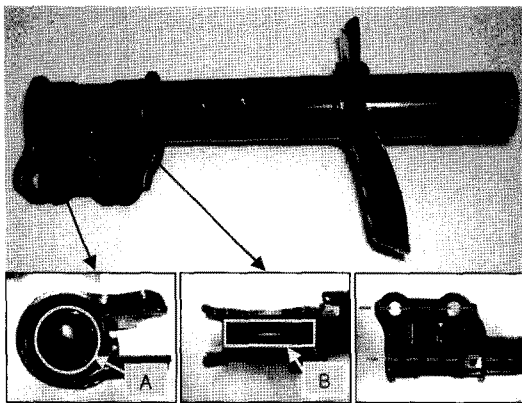
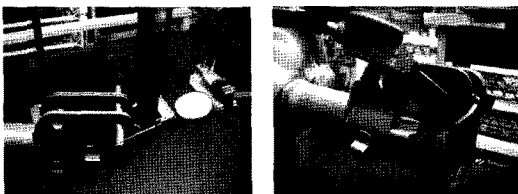


Fig. 1 Shock absorber outer tube assembly



(a) hole center check (b) hole diameter check

Fig. 2 Manual job for quality check

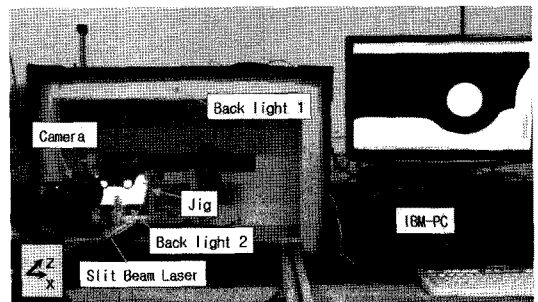


Fig. 3 Developed inspection system using image processing

Table 1 Specifications of the image processing system

Item	Specifications
Camera	Dalsa Falcon 2M30 - Resolution: 1600x1200/1920x1080 - Data Rate: 2x40MHz - Frame Rate: 34fps - Pixel Size: 7.4 μ m X 7.4 μ m - Data Format:8,10bit - Output: Base Camera Link
Lens	Zeiss Planar T* 1.4/50 ZF - Focal Length: 50mm - Aperture Range: f/1.4-f/16
Image Board	Matrox SOL 6M CL - PCI-X® card with universal 64-bit card - 64MB of 83/100 MHz DDR SDRAM - Camera Link® port (eCL-F/XCL-F) - Channel Link™ speed of up to 66/85 MHz

Table 2 Specification of the calibration plate (PN:46250)

Item	Specifications		
	Large	Middle	Small
• Square Length (mm)	50.00	25.00	12.50
• Dot Dia.	1.00	0.50	0.25
• Dot Spacing	2.00	1.00	0.50

2.2 카메라 캘리브레이션

카메라에서 획득한 영상으로부터 제품의 실제 치수를 구하기 위하여 카메라의 캘리브레이션(Calibration)이 선행되어야 한다. 카메라 캘리브레이션은 Edmund Industrial Optics사의 캘리브레이션을 위해 만들어진 제품(PN : 46250 / SN : 0000-0599)을 사용하여 수행하였다. Fig. 4는 실제 캘리브레이션을 수행하기 위해 캘리브레이션 판을 부착한 모습이며 Table 2는 캘리브레이션 판에 대한 사양을 나타내었다.

3방향(x, y, z)의 캘리브레이션을 위해 캘리브레이션판을 Fig. 3과 같은 단방향 정밀 이송 테이블(Newport사 : M-460 series)을 이용하여 z방향을 0~10mm 까지 5mm간격으로 변경하며 영상을 획득하였다. 이 영상을 처리하여 각각의 원형점의 중심을 구하였으며, 이를 Fig. 5에 도시하였다.

무계중심좌표의 평균연산에 의해 캘리브레이션 판 위의 점들은 획득된 영상의 화소(Pixel) 평면 위에 일정 간격마다 위치한 결과를 얻었고, 캘리브레이션 판의 대원형점(Large Dot)은 2mm간격이므로 이것과 비교하여 한 화소 간 거리

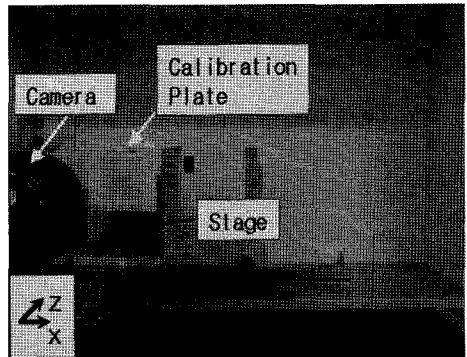


Fig. 4 Calibration of the camera image

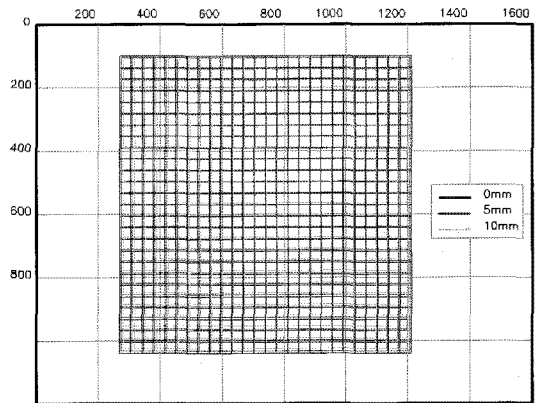


Fig. 5 Centroid coordinate of calibration dots at various Z position

Table 3 The mean distance of the calibration dots at various z position

z Position	Column Dist. (i) (pixel)	Row Dist. (j) (pixel)	Pixel Distance (mm/pixel)	Difference (mm/pixel)
0mm	36.2186	36.2183	0.05522	0.00065
5mm	35.8004	35.7996	0.05587	
10mm	35.3881	35.3865	0.05652	

를 구할 수 있었으며, 각 0mm, 5mm, 10mm의 위치마다 일정한 차이를 확인할 수 있었다. 그 결과를 Table 3에 나타냈다. 표에서 보는 바와 같이 캘리브레이션판의 위치에 따라 픽셀의 크기에 대한 값이 일정하게 변하는 것을 확인하였고, 이 관계는 z 방향의 변화에 따라 발생하는 것을 확인하였다.

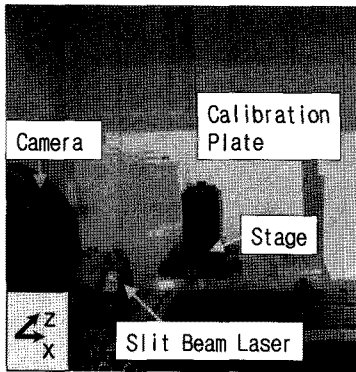


Fig. 6 Projection of the slit beam laser on the calibration plate

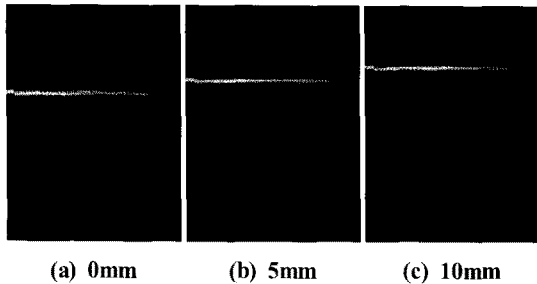


Fig. 7 Image of the laser slit beam on the calibration plate

Table 4 The mean of laser position at various Z position

Item	Calibration plate position (Z)		
	z = 0mm	z = 5mm	z = 10mm
Average Row Pixel No. \bar{j}	450.7502	382.1717	314.4487
RMS Error (pixel)	1.74	2.19	1.97

2.3 슬릿빔 레이저 캘리브레이션

영상처리를 단순하게 하기 위하여 카메라의 앞뒤 방향인 z 방향으로 거리를 간단하게 구할 수 있도록 Fig. 6과 같이 슬릿빔 레이저(Slit Beam Laser)를 캘리브레이션판 위에 투영하였으며, 이때 임의의 각도로 설치된 슬릿빔 레이저에 의해 투영되는 레이저의 영상은 z 방향 거리에 따라서 영상에서는 상하로 변하게 된다. 위치별로 변화되어 투영된 레이저의 영상을 Fig. 7과 같이 획득하였다.

Fig. 7의 영상들을 이진화, 골격화 처리를 하여 Table 4와

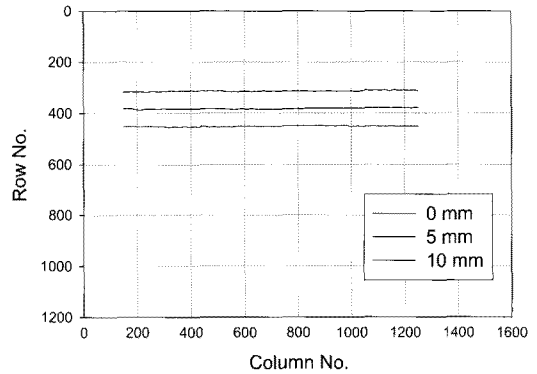


Fig. 8 The laser position at various Z position

Fig. 8과 같이 슬릿빔 레이저 영상의 평균 좌표를 구하였다. 투영되는 슬릿빔 레이저 영상의 위치는 z 방향으로 5mm 간격으로 변화할 때 평균적으로 68.15화소씩 위쪽으로 이동한다. 오차는 z=5mm 위치에서 RMS 오차가 2.19 픽셀이므로 이는 0.161mm에 해당한다.

2.4 너클 브라켓 구멍 데이터 계산

2.4.1 구멍 유무 확인

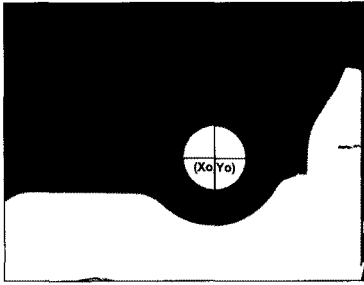
일반적으로 영상처리에서 구멍(Hole)이 생성되었는지의 여부는 전체 영상을 검토하여 위상학적인 관계를 파악하여 결정한다. 그러나 본 논문에서는 구멍이 있는 위치를 개략적으로 추정할 수 있기 때문에 Fig. 9에 도시한 과정에 따라 판단할 수 있으며 그 방법은 다음과 같다. Fig. 9(a)와 같이 구멍이 있을 가능성이 있는 영역의 영상을 이진화하여, 임의의 가상좌표(X_0, Y_0)로부터 폭 d 화소의 십자 영역에서 화소값이 '1'인 화소의 수를 세어서 구멍의 유무를 확인할 수 있는 최소 화소의 수와 비교하여 그보다 많을 경우는 구멍이 있는 것으로 판단한다. 그 과정을 Fig. 9(b)에 나타냈다.

2.4.2 구멍 중심, 반경, 진원도

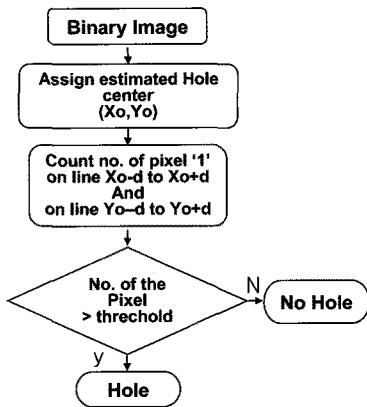
원형 부품의 진원도를 평가하는 방법은 최소제곱원법, 최소영역법 등이 있는데, 본 논문에서는 계산의 편의성을 고려하여 Fig. 10과 같이 최소제곱원(least square circle) 법을 사용한다⁽⁷⁻⁹⁾.

중심이(a, b), 반경 r 인 LSC의 식은 다음 식(1)과 같으며, 식(2), (3) 과 같이 쓸 수 있다.

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (1)$$



(a) Hole check on the binary image



(b) Hole check flow

Fig. 9 checking the hole existence

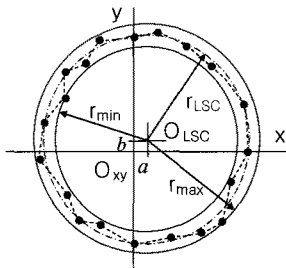


Fig. 10 Least Square Circle to measure roundness

$$f(x, y, r) = x^2 + y^2 - 2xa - 2yb - c \quad (2)$$

$$c = r^2 - a^2 - b^2 \quad (3)$$

최소 제곱원은 원을 이루는 N 개의 점들의 좌표를 식(2)에 대입하여 식(4)와 같은 오차의 제곱 합이 최소가 되도록 하여 구할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^N f^2(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 - 2x_i a - 2y_i b - c)^2 \quad (4)$$

x_i : 점 i 의 x 좌표, y_i : 점 i 의 y 좌표

식(4)를 변수 a, b, c 각각에 대하여 편미분하여 그 결과가 0이 되도록 하면, 식(4)의 오차의 제곱합이 최소가 되도록 하는 a, b, c 를 구할 수 있다. 이를 매트릭스를 이용하여 표시하면 다음 식(5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} 2 \sum_{i=1}^N x_i^2 & 2 \sum_{i=1}^N x_i y_i & \sum_{i=1}^N x_i \\ 2 \sum_{i=1}^N x_i y_i & 2 \sum_{i=1}^N y_i^2 & \sum_{i=1}^N y_i \\ 2 \sum_{i=1}^N x_i & 2 \sum_{i=1}^N y_i & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x_i (x_i^2 + y_i^2) \\ \sum_{i=1}^N y_i (x_i^2 + y_i^2) \\ \sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2) \end{bmatrix} \quad (5)$$

최소 제곱원의 반경은 식(3)으로부터 다음의 식(6)으로 구해진다.

$$r = \sqrt{c + a^2 + b^2} \quad (6)$$

이렇게 구해진 중심(a, b)와 측정된 데이터로부터 진원도를 식(7)에 의해 구한다.

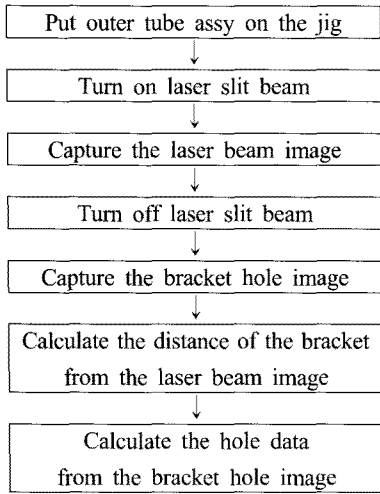
$$\varepsilon_r = r_{\max} - r_{\min} \quad (7)$$

3. 너클 구멍 검사 결과

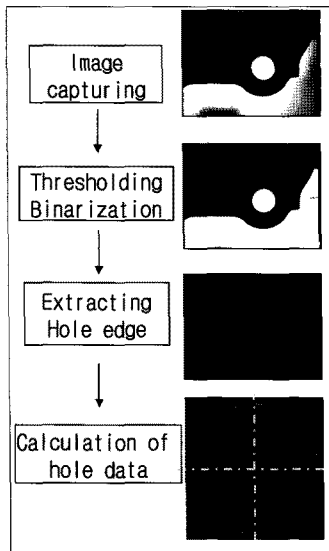
3.1 너클 구멍 검사 과정

영상을 획득하고 획득된 영상으로부터 제품의 합격, 불합격을 판정하기 위해서 Fig. 11(a)에 보인 과정을 따라서 처리된다. 또한 그 중에 구멍 영상을 처리하는 과정은 Fig. 11(b)에 도시한 것과 같은 처리과정을 거친다.

제품을 지그(Jig)에 올려놓고 조명에 의해 특정화된 영상을 얻고, 차후의 처리과정을 단순하게 하기 위하여 영상을 이진화 한다. 이진영상으로부터 관심영역의 정확한 정보를 얻기 위해 윤곽선(Edge)를 추출한다. 윤곽선 추출 방법은 흑백 경계부분에서 화소 값이 '0'과 '1'로 차이가 있는 것을 이용하여 8-connected 조건을 이용하여 추적하는 방법은 사용한다. 추출된 윤곽선 좌표에 대하여 일련의 처리과정을 거쳐 너클 구멍과 관련한 수치 데이터를 구한다.



(a) Inspection sequence of the holes



(b) Sequence of image processing

Fig. 11 Sequence of image processing

3.2 너클 브라켓 거리 측정

카메라의 기준점으로부터 구멍이 있는 브라켓 면까지의 거리를 측정하기 위한 영상을 획득하기 위하여 Fig. 12에 보인 것과 같이 레이저 슬릿빔을 브라켓에 조사하여, Fig. 13와 같은 영상을 획득하였다.

획득된 영상으로부터 레이저가 투영된 부분의 영상을 처리하여 Table 5의 결과를 얻을 수 있었다. 이는 Table 4에서

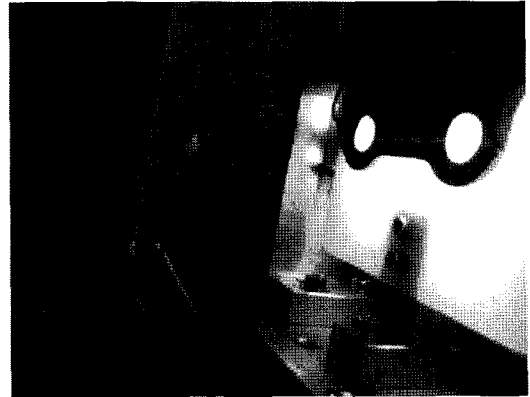


Fig. 12 Projection of the slit beam laser on the bracket

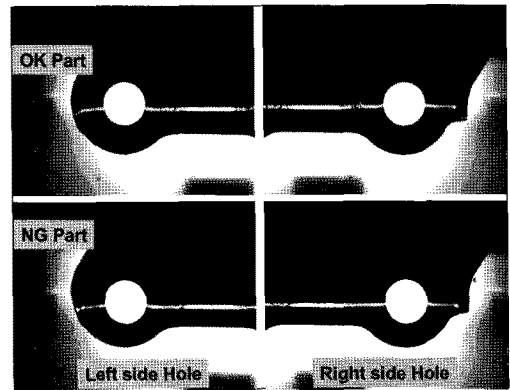


Fig. 13 Images of the Laser beam on the knuckle holes

Table 5 Processed laser image on the knuckle hole

	Holes			
	OK Left	OK Right	NG Left	NG Right
Average Row Pixel No. \bar{j}	652.45	652.63	670.72	670.63
Position z (mm)	-14.798	-14.811	-16.139	-16.132
Dist. (mm/pixel)	0.053296	0.053295	0.053122	0.053123

0mm 기준점의 \bar{j} 이 450.7502화소이므로 OK Left 구멍은 201.7화소만큼 이동된 곳에 브라켓 면이 있다. 이는 앞 절에서 도출된 z 방향의 거리 이동에 따른 5mm/68.15pixel 을 적용하여 OK Left 구멍이 있는 면의 위치는 -14.798mm 이

Table 6 Setting value for hole

	Xo	Yo	d	Min. No. of '1' Pixel
Left Hole	780	630	200	400
Right Hole	940	650	200	400

Table 7 Processed result of hole

	No. of '1' in X (Pixel)	No. of '1' in Y (Pixel)	Result
Left Hole OK Part	639~914 : 275ea	493~768 : 275ea	550>400
Right Hole OK Part	797~1072 : 276ea	510~786 : 276ea	552>400
Left Hole NG Part	640~913 : 273ea	494~767 : 273ea	546>400
Right Hole NG Part	796~1072 : 276ea	509~787 : 278ea	554>400

격된 곳에 위치되어있는 것을 확인할 수 있었다.

또한 z 방향의 변화에 따라 Table 3에서 화소 간격의 차이값 0.00065mm/5mm을 적용하여 OK Left 구멍의 측정면의 화소간격은 0.053296mm/pixel이며, 그 이외의 경우는 Table 5에 정리한 것과 같다.

3.3 너클 브라켓 구멍 유무 판정

여기에 사용된 설정값, 즉 추정된 구멍의 중심위치(Xo, Yo)와 d범위, 최소 '1'값을 갖는 화소의 수는 각 구멍별로 Table 6과 같다. 이를 이용하여 각 구멍의 영상에 대하여 Fig. 9의 과정을 적용한 결과 각 구멍별로 Table 7의 결과를 얻을 수 있었고, '1'로 표시되는 화소의 수가 기준보다 많으므로 구멍이 있는 것으로 판정하였다.

3.4 너클 브라켓 구멍 데이터 결정

3.4.1 너클 브라켓 구멍 중심 위치

너클 구멍에 관한 데이터는 Fig. 11(b)의 과정을 따라서 처리하였다. OK로 판정된 제품의 우측 구멍을 처리한 결과를 Fig. 14에 보였다. 원주상의 화소에 대한 좌표를 절 2.4.2에 설명한 최소자승원(LSC)을 구하는 과정을 따라서 계산하였으며, 그 결과를 Table 8에 정리하였다. 또한 NG 인 제품과 OK인 제품의 구멍 중심위치의 차이를 Table 9에 보였다.

즉 Table 9의 결과를 보면 NG 제품은 OK 제품에 비하여

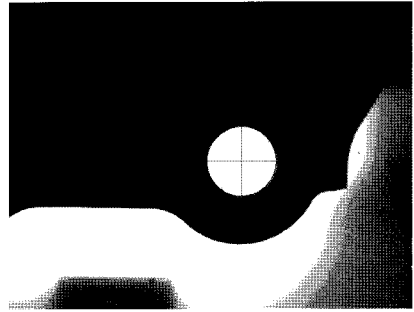


Fig. 14 Processed result of OK part center hole (Right)

Table 8 Hole center position (pixel)

	OK L	OK R	NG L	NG R
row (pixel)	618.0562	624.2833	637.9765	640.6958
column (pixel)	742.9419	925.8555	740.8500	929.3087

Table 9 Hole center position difference of the NG and OK products (mm)

	Δx (mm)	Δy (mm)
Left Hole	0.24	-0.95
Right Hole	-0.02	-0.76

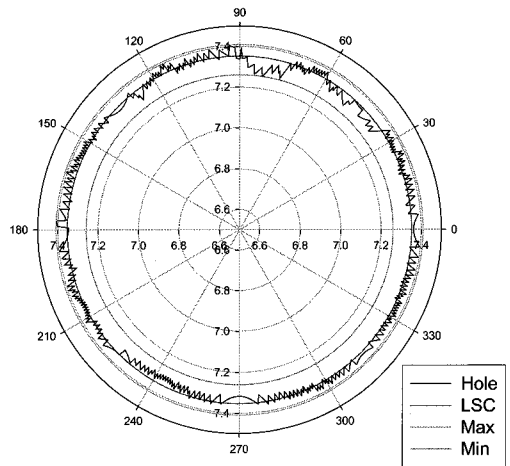


Fig. 15 Roundness result of OK part center hole (Right)

스패터의 영향으로 구멍을 가공할 때 0.95mm 이상 제품이 들려있는 상태로 유압프레스에 장착되어 가공된 것을 확인

Table 10 Calculation results of the roundness

	OK L	OK R	NG L	NG R
LSC Radius (mm)	7.313	7.353	7.318	7.394
Roundness (mm)	0.238	0.149	0.183	0.100

할 수 있었다.

3.4.2 너클 브라켓 구멍 반경, 진원도

앞의 영상에 대하여 진원도를 구했으며, 그 결과를 Fig. 15에 나타냈다. OK 제품과 NG 제품의 모든 구멍에 대하여 적용하여 그 처리 결과를 Table 10에 정리하였다.

설계 단계에서 직경의 지정된 치수는 $\varnothing 14.2 \pm 0.1\text{mm}$, 즉 반경이 7.15mm~7.05mm 이므로 OK 제품일 경우는 0.2mm 정도의 오차이다. 진원도는 OK 제품의 왼쪽 구멍일 경우 0.238mm 만큼 허용 범위를 벗어나는데, Fig. 15에 보인 것과 같이 데이터를 조사해보면 국소적으로 변형이 있는 것을 볼 수 있다. 이외에는 허용오차 이내로 제작되어 있는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 자동차에 사용되는 속업서버의 너클 브라켓 구멍의 검사를 위한 영상처리 시스템의 개발에 필요한 핵심 기술을 개발하였으며, 다음의 결론을 도출하였다.

- (1) 영상처리 방법을 이용함으로써 수작업에 의존하던 검사 작업을 자동화 할 수 있었다. 따라서 자동 공급 장치를 추가하여 운전하면 생산성을 크게 향상 시킬 수 있다.
- (2) 본 논문에서 개발된 방법에서 발생할 수 있는 오차는 레이저 슬릿빔을 이용하여 측정면의 위치를 확인하는 단계와 영상을 처리하여 구멍의 윤곽선 좌표를 구하는 단계에서 빛의 반사 특성에 따라서 발생할 수 있다. 측정면의 위치를 확인하는 단계에서 2.19 픽셀, 즉 0.161mm 발생하였으나, 실용적으로 충분하다.
- (3) 본 논문에서는 사용한 시스템에서는 약 0.05mm의 분해능을 갖는다. 그러므로 속업서버 구멍의 위치에 대한 검사규격인 $\pm 0.4\text{mm}$ 를 충분히 검사할 수 있다.

후 기

이 논문은 2009년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2009).

참 고 문 헌

- (1) Jain, R., Kasturi, R., and Schunck, B. G., 1995, *Machine Vision*, McGRAW-HILL International edition, USA.
- (2) Gonzalez, R. C., Wood, R. E., and Eddins, S. L., 2004, *Digital Image Processing using MATLAB*, ITC, USA.
- (3) McAndrew, A., 2004, *Introduction to Digital Image Processing with MATLAB*, Thomson Course Technology, USA.
- (4) Lee, W. S. and Han, S. H., 2007, "Development of Non-Contacting Automatic Inspection Technology of Precise Parts", *Trans. of the KSMTE*, Vol. 16 No. 6, pp. 110~116.
- (5) Kim, J. H., Ryu, C. W., Park, S. M., and Ryuh, B. S., 2004, "Development of Laser Diode Tester and Position Compensation using Feedback with Machine Vision", *Trans. of the KSMTE*, Vol. 13 No. 4, pp. 30~36.
- (6) Shin, H. S., 1999, "A Study on the surface modeling method from a range image", M. S. Thesis, Chungbuk National University, Republic of Korea.
- (7) Park, J. H., 2001, *Precision Measurement System Engineering*, Yajung Publisher, Republic of Korea, pp. 323~331.
- (8) Lawford, B., 2003, "Uncertainty Analysis and Quality Assurance for Coordinate Measuring System Software," M. S. Thesis, Dept. of Mech. Eng., U. of Maryland, USA.
- (9) NIST, 2010, *Engineering Statistics Handbook, Chap.2 Measurement Process Characterization*, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>.