

머신비전을 이용한 나사 머리 성형 펀치의 검사 알고리즘

정 구 현 · 정 성 엽*

국립한국교통대학교 기계공학과

Inspection Algorithm for Screw Head Forming Punch Using Based on Machine Vision

Ku Hyeon Jeong · Seong Youb Chung*

Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju-si, Korea

(Received 2013. 10. 21 / Accepted 2013. 11. 14)

Abstract : This paper proposes a vision-based inspection algorithm for a punch which is used when forming the head of the small screws. To maintain good quality of punch, the precise inspection of its dimension and the depth of the punch head is important. A CCD camera and an illumination dome light are used to measure its dimensions. And a structured line laser is also used to measure the depth of the punch head. Resolution and visible area depend on setup between laser and camera which is determined using CAD-based simulation. The proposed method is successfully evaluated using experiment on #2 punch.

Key words : Machine Vision(머신비전), Screw Head Forming Punch(나사 머리 성형 펀치), Structured Light(구조광), Inspection (검사)

1. 서 론

나사 머리부분 성형은 일반적으로 단조(forging) 공정을 통해 이루어진다. 나사 머리 성형 펀치는 단조 공정에서 사용되는 것으로 반복적인 작업으로 인하여 파손 또는 마모 현상이 생긴다. 펀치의 수명은 사용횟수로 측정되며, 펀치가 불량일 경우 수명이 현저하게 감소한다. 이러한 문제로 인해 펀치의 검사가 필요하며 최근까지 펀치의 불량검사는 사람의 육안으로 시행되어 왔다. 이와 같은 방법은 100% 불량 선별이 어려울 뿐만 아니라 많은 시간과 비용 그리고 노동력이 필요하여, 해당 산업분야의 발전에 걸림돌이 되고 있는 실정이다. 최근 검사방법으로 머신 비전을 활용한 방법이 많이 부각되고 있으며, 특히 전량 검사가 필요한 분야에 매우 유용하다.¹⁻⁴⁾

본 연구의 대상인 펀치는 2차원 영상만으로 모든 부분을 검사할 수 없다. 특히 펀치 머리부분의 깊이 검

사는 3차원 측정 방법을 사용해야 한다. 정밀한 3차원 영상 측정 방법으로 레이저 구조광을 이용한 방법이 많이 이용되고 있다.⁵⁻⁷⁾ 이 방법은 라인형상의 레이저를 대상 물체에 조사하고 물체의 높낮이에 따라 레이저의 왜곡을 카메라로 측정하여 광삼각법을 통해 깊이 정보를 추출하는 방법이다. 본 연구에서는 3차원 깊이 측정을 위해 이와 같은 레이저 구조광을 이용한 방법을 이용하였다.



Fig. 1 CCD camera and dome light

*Corresponding author. E-mail: sychung@ut.ac.kr

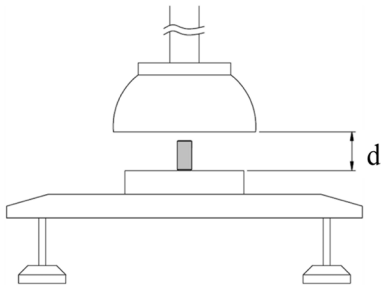


Fig. 2 Distance between punch and dome light

편치의 검사 항목으로는 편치 머리의 외경과 내경, 십자부의 크기와 깊이 그리고 편심 여부와 각도 등이 있다. 본 논문에서는 검사 과정을 두 단계로 나누고, 먼저 CCD 카메라와 Dome 조명을 이용하여 다양한 조건에서 편치 머리의 영상을 취득해 검사를 하는 방법과 CCD 카메라와 라인레이저의 구조적인 정보를 이용하여 검사하는 방법을 제안하고, 시뮬레이션과 실험을 통해 제안된 방법을 검증하고자 한다.

2. 편치의 치수 측정

2.1 영상 획득 방법

편치의 영상은 Fig. 1과 같이 CCD 카메라와 LED Dome 조명을 이용하여 획득하였다. 본 연구에서 사용된 CCD카메라의 해상도는 1024×768 이다. 최적의 조명 조건을 얻기 위해 배경의 색상, 조명의 세기, 조명과

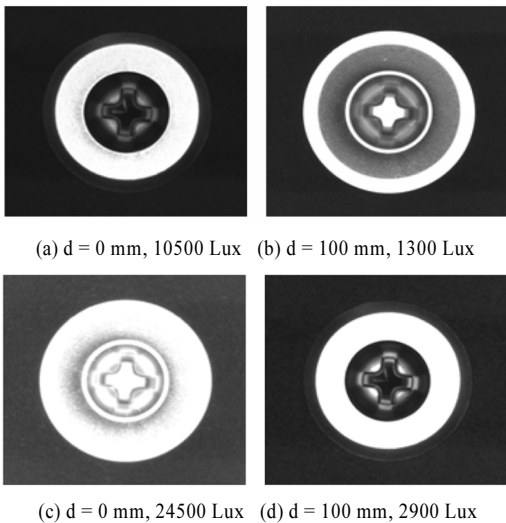


Fig. 3 Snapshot of punch with black background

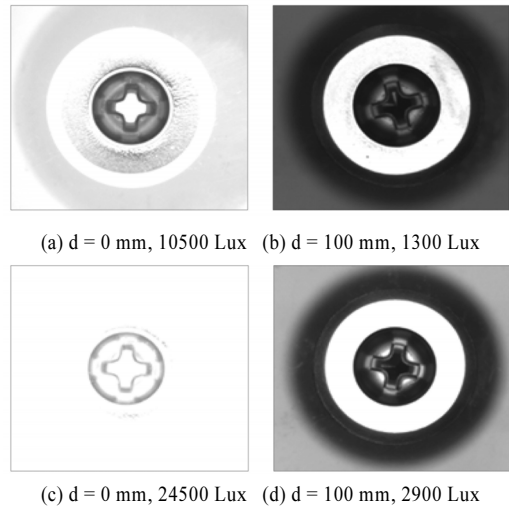


Fig. 4 Snapshot of punch with transparent background

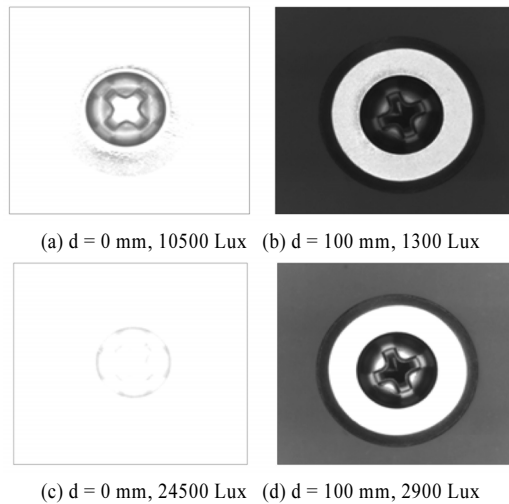


Fig. 5 Snapshot of punch with white background

시편의 거리의 3가지의 변수로 나누어 측정 실험을 진행하였다. Dome 조명과 편치와의 거리 d 는 Fig. 2와 같다. Fig. 3, 4, 5는 배경이 검은색, 투명, 흰색일 때 획득한 영상의 샘플이며, 각 그림에서 (a)는 조명과 시편 사이의 거리 d 가 0 mm, 조명의 밝기는 10500 Lux이며, (b)는 d 가 100 mm, 조명의 밝기는 1300 Lux, (c)는 d 가 0 mm, 조명의 밝기는 24500 Lux, (d)는 d 가 100 mm, 조명의 밝기는 2900 Lux일 때의 샘플 영상을 나타낸 것이다. 실험 결과 편치 외경의 경계선이 가장 잘 나타나는 경우는 배경이 검은색이며 d 가 0 mm이고, 조명의 밝

기는 24500 Lux인 조건으로, Fig. 3(c)임을 확인할 수 있었으나, 펀치 내부가 너무 밝아 펀치 내부를 검사하기는 어려운 단점이 있었다. 펀치 내경의 경계선은 대부분의 경우에 잘 나타남을 확인할 수 있었으나, 펀치 십자부의 경우에는 검은 배경에 d 가 100 mm, 조명 밝기 2900 Lux인 조건과 흰색 배경에 d 가 100 mm, 조명 밝기 2900 Lux인 조건에서만 잘 나타남을 확인할 수 있었다. 그러나 두 경우 모두 펀치 외경의 경계선이 뚜렷하지 않은 문제점을 가지고 있다. 검은색 배경에 d 가 100 mm, 조명 밝기 1300 Lux인 조건은 Fig. 3(b)에서 보는 것과 같이 십자부의 모양과 외경의 경계선을 구분할 수 있고 내경의 경계선도 뚜렷하게 나타난다. 따라서 본 실험을 통해 펀치의 외경과 내경 검사에 적합한 조명 조건은 Fig. 3(b)와 같이 검은색 배경에 d 가 100 mm, 조명 밝기 1300 Lux임을 확인할 수 있었다. Fig. 6은 펀치의 실제모습이다.

2.2 펀치의 외경과 내경 측정

펀치의 외경과 내경의 크기는 Fig. 3(b)의 영상을 이용하여 구한다. 외경을 구하는 방법은 먼저 배경과 펀치의 경계선 부근에 관심영역을 설정한 후 안쪽으로 픽셀 값을 검사하여 외경에 해당하는 경계점 d_1 을 찾는다. 반대편도 같은 방법으로 d_1 에 해당하는 점을 찾으면 두 점 사이의 픽셀수를 구할 수 있다. 내경의 경우 d_1 에서 임의의 일정한 거리 ΔU 를 이동한 후 다시 관심영역을 설정하여 d_2 에 해당하는 점을 찾는다. 마찬가지로 반대편에서 d_2 에 해당하는 점을 찾으면 두 점 사이의 픽셀수를 구할 수 있다. 외경과 내경 모두 구해진 픽셀 수에 한 픽셀의 실제길이를 곱해주면 실제거리를 구할 수 있다. Fig. 7은 펀치의 외경과 내경의 경계점을 보여주고 있다. 이와 같은 방법을 이용하여 10개의 제품을 테스트하여 펀치의 외경과 내경을 구하였다. 표 1은 펀치의 외경과 내경의 치수검사 결과를 나타낸다. 외경의 경우 허용오차 범위인 12.0 mm(-0.02 mm ~ -0.04 mm)에 모두 검사결과가 들어오는 것을 확인하였고 내경의 경우 허용오차 범위인 5.4 mm(0 ~ +0.1 mm)에 검사결과가 모두 들어오는 것을 확인할 수 있었다.

2.3 펀치의 십자부 측정

펀치의 십자부의 길이 측정은 Fig. 8과 같은 영상을 통해 구할 수 있다. Fig. 8은 Fig. 3에서 Fig. 5와 같은 방



Fig. 6 Snapshot of #2 punch

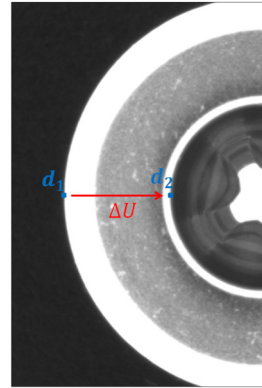


Fig. 7 Outer and inner circle of punch

Table 1 Results of geometry inspection of pin

no	외경 치수	오차	내경 치수	오차
1	11.971 mm	-0.029 mm	5.412 mm	0.012 mm
2	11.975 mm	-0.025 mm	5.429 mm	0.029 mm
3	11.972 mm	-0.028 mm	5.428 mm	0.028 mm
4	11.965 mm	-0.035 mm	5.411 mm	0.011 mm
5	11.968 mm	-0.032 mm	5.411 mm	0.011 mm
6	11.975 mm	-0.025 mm	5.408 mm	0.008 mm
7	11.973 mm	-0.027 mm	5.426 mm	0.026 mm
8	11.970 mm	-0.030 mm	5.427 mm	0.027 mm
9	11.978 mm	-0.022 mm	5.407 mm	0.007 mm
10	11.973 mm	-0.027 mm	5.453 mm	0.053 mm

법으로 돔 조명과 시편사이 거리 d 가 55 mm, 조명의 세기를 30%로 설정하여 얻은 영상이다. Fig. 8을 보면 A는 십자부 양 끝부분의 직선거리를 의미하고 B는 십자부 중간 경계선의 직각방향에 있는 끝점의 직선거리를 의미한다. 십자부의 길이를 구하기 위해서는 펀치의 센터를 구해야 한다. 영상에서 펀치의 중심 위치를 알 수 없으므로 외경의 경계선으로 먼저 중심을 구

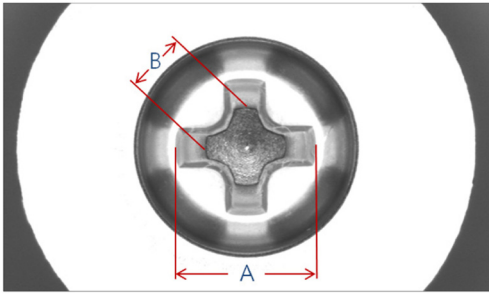


Fig. 8 Inspection area for cross part of punch head

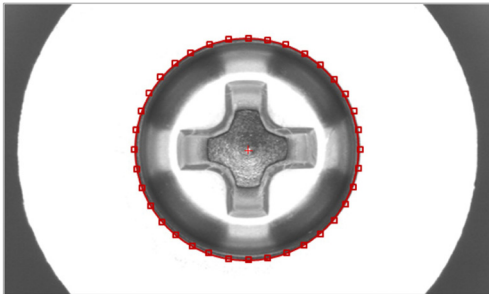


Fig. 9 Boundary extraction of inner circle and computed center point

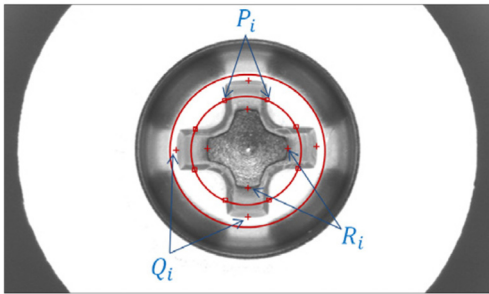


Fig. 10 Boundary points of cross part P_i, Q_i

하고 그 중심을 이용해 내경의 중심 위치를 계산한다. Fig. 9는 펀치 내경의 경계선 추출 및 이에 따른 펀치 중심을 영상에 표시한 것이다. 추출된 경계선은 식 (1)과 같은 원의 방정식으로 모델링하였으며, 식 (1)에서 최소자승법을 이용하여 a, b, c를 구한 후, x_c, y_c, r 의 값을 식 (2), (3), (4)와 같이 계산하였다.

$$x^2 + y^2 + ax + by + c = 0 \quad (1)$$

$$x_c = -\frac{a}{2} \quad (2)$$

$$y_c = -\frac{b}{2} \quad (3)$$

$$r = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 - 4c}{4}} \quad (4)$$

외경을 통해 구한 중심과 내경을 이용해 구한 중심의 위치가 큰 차이를 보일 경우 이는 불량으로 판별한다. 정확한 중심을 구한 후에 Fig. 10과 같이 십자부 날개의 경계점 P_i 를 찾는다. 센터에서 각 날개 P_i 의 중앙방향으로 날개 끝점인 Q_i 의 방향이 된다. 그 방향으로 Q_i 의 경계점을 찾으면 반대편 Q_i 까지 거리가 A가 된다. 날개 끝점 Q_i 에서 펀치의 중심방향으로 진행하면 검은 경계선에 해당하는 경계점 R_i 이 나오며 인접해 있는 R_i 사이의 거리가 B가 된다. 실험에서 밝기의 임계값은 200으로 설정하였다. 이와 같은 방법을 이용하여 10개의 제품을 테스트하여 펀치 십자부의 거리를 구하였다. 표 2는 펀치의 십자부 검사 실험결과로서 A의 경우 허용오차 범위인 3.5 mm(0 ~ +0.5 mm)에 모두 검사결과가 들어오는 것을 확인하였고 B의 경우 허용오차 범위인 1.47 mm(0 ~ -0.03 mm)에 검사결과가 모두 들어오는 것을 확인할 수 있다.

3. 레이저 구조광을 이용한 깊이 측정

라인 레이저를 이용한 펀치의 구조광 측정 실험은 Fig. 11과 같이 레이저를 기울여 펀치를 향하게 위치하고 카메라가 펀치의 윗면을 촬영하는 방법으로 실험

Table 2 Experimental result of A and B of the cross part of punch head

no	A	오차	B	오차
1	3.529 mm	0.029 mm	1.463 mm	-0.007 mm
2	3.538 mm	0.038 mm	1.452 mm	-0.018 mm
3	3.531 mm	0.031 mm	1.466 mm	-0.004 mm
4	3.520 mm	0.020 mm	1.468 mm	-0.002 mm
5	3.541 mm	0.041 mm	1.459 mm	-0.011 mm
6	3.509 mm	0.009 mm	1.455 mm	-0.015 mm
7	3.522 mm	0.022 mm	1.449 mm	-0.021 mm
8	3.535 mm	0.035 mm	1.451 mm	-0.019 mm
9	3.544 mm	0.044 mm	1.457 mm	-0.013 mm
10	3.526 mm	0.026 mm	1.461 mm	-0.009 mm

Table 3 Resolution and plausible inspection area according to angle

	35°	40°	45°	50°
정밀도	11 μm	14 μm	17 μm	20 μm
측정 가능 영역	0.4mm	0.7mm	1.0mm	1.5mm

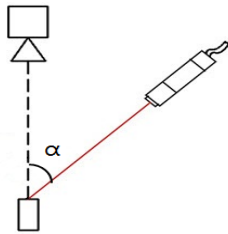


Fig. 11 Schematic diagram of camera and line laser

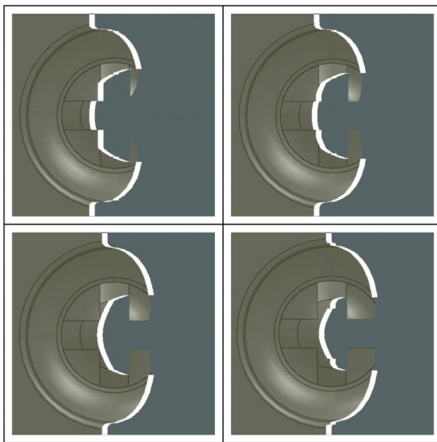


Fig. 12 Simulated beam laser projection on punch head when the angle is 45°

하였다. 레이저 투영 각도 α 를 정하기 위하여 실험하기 전 표 3과 같이 다양한 각도에 대해 모의실험을 수행하였으며, 펀치 깊이의 측정 가능 범위와 해당 각도의 분해능을 구하였다. 모의실험은 3D CAD인 솔리드웍스를 이용하였다. 모의실험 결과 레이저의 투영 각도가 낮아질수록 정밀도는 높아지는 반면 측정 가능 범위가 작아지고 레이저의 투영 각도가 높아질수록 정밀도는 낮아지는 반면 측정 가능 범위는 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 레이저의 투영 각도를 45°로 정하여 측정 가능 범위 1 mm, 정밀도 17 μm 로 실험하였다. Fig. 12는 α 가 45°일 때 레이저가

투영된 펀치 헤드의 모습을 나타낸 것으로 굵은 흰색 선이 레이저가 투영되는 선을 의미한다. 실제 시험은 Fig. 13과 같이 암실 상태에서 이루어졌으며 카메라의 속도는 30 frame/s이고 선형 스테이지를 통해 펀치가 좌로 또는 우로 1 mm/s의 속도로 이동 중일 때 영상을 획득하였다.

펀치의 깊이 계산 방법은 먼저 Fig. 14의 A, B와 같은 관심영역을 설정하고 영역 안에 있는 흰색 선의 중심선을 구한다. 중심선은 흰색 선의 좌우에서 경계점을 구한다음 그 점들의 중심점을 구하고 최소자승법을 이용해 그 점들의 중심선을 계산하였다. 중심선이 구해지면, 선분의 끝점 $M_{u,v}$, $N_{u,v}$ 의 v 값을 구해진 중심선의 식에 대입하여 각 점의 u 값을 구한다. 라인 레이저의 기울어진 각도 α 가 45°라 한다면 $N_{u,v}$ 의 u 와 $M_{u,v}$ 의 u 의 차가 곧 깊이에 해당하는 pixel 수를 의미

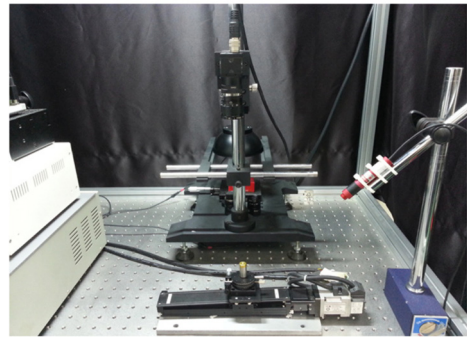


Fig. 13 Experimental setup using camera and line laser

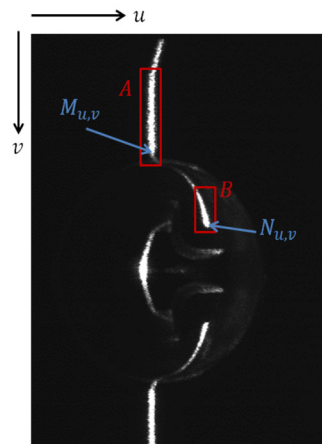


Fig. 14 Two feature points to compute the depth of punch head

한다. 식 (5)는 레이저의 기울어진 각도와 깊이와의 관계를 나타내고 여기서 ΔU 는 $N_{u,v}$ 의 u 와 $M_{u,v}$ 의 u 의 차를 의미한다. 펀치 헤드의 깊이는 펀치 헤드 면을 스캔하여 깊이를 연속적으로 구하고, 깊이가 가장 큰 값을 펀치 헤드의 깊이로 결정하였다.

$$depth = \Delta U \times \tan\theta \times resolution \quad (5)$$

Fig. 15는 깊이를 측정할 실험 결과 그래프이다. 그래프에서 세로 성분은 깊이를 의미하고 가로 성분은 u 방향으로 레이저가 이동한 거리를 의미한다. 식 (6)과 (7)은 레이저 선을 스캔하여 깊이를 구한 결과에 대해 추세선의 방정식과 그 식의 1차 미분방정식을 의미한다. 식 (7)에서 $y'=0$ 이 되는 값이 기울기가 0이 되는 값이므로 그 값을 식 (6)에 대입하면 깊이의 최대값을 구할 수 있다. 이 실험에서 깊이 방향의 분해능은 0.015 mm이며, 실험 결과는 허용오차 범위 1.60

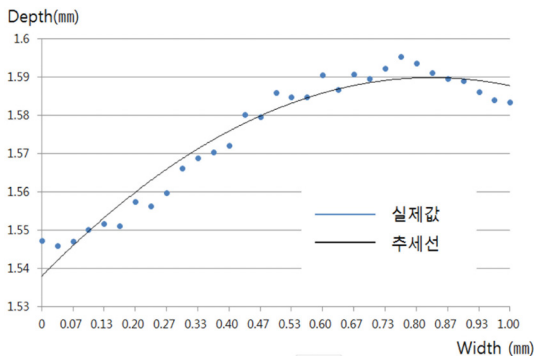


Fig. 15 An example for computation of the depth of the pin head



Fig. 16 Images of lasers projected on punch head

Table 4 Experimental result to compute the depth of the punch head

no	깊이	오차
1	1.611 mm	0.011 mm
2	1.606 mm	0.006 mm
3	1.609 mm	0.009 mm
4	1.612 mm	0.012 mm
5	1.609 mm	0.009 mm

mm(-0.05 mm ~ 0.05 mm)를 만족하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 16은 레이저가 펀치 헤드에 투영된 영상의 예를 나타낸다. 위 실험은 총 5회 반복하였으며, 결과는 표 4에 정리하였다. 실험 결과 펀치 헤드의 깊이 오차는 모두 허용오차 범위 내에 있는 것을 확인할 수 있었다.

$$y = -0.00008x^2 + 0.001x + 1.6078 \quad (6)$$

$$y' = -0.00016x + 0.001 \quad (7)$$

4. 결론

본 논문에서는 머신비전을 이용하여 나사 머리 성형 펀치의 검사 알고리즘을 제안하였으며, 실험을 통하여 유효성을 검증하였다. 금속 재질의 펀치는 경우에 따라 난반사가 발생하는 문제점이 있다. 이 경우에 레이저 선의 중심선을 찾기 어려우며, 따라서 측정 결과에도 큰 오차가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 연속적인 측정값을 통해 이러한 특이점을 제거하였다. 향후 실제 현장에서 발생하는 불량품에 대해서도 제안된 방법을 검증하고 보완할 예정이다.

Acknowledgement

이 논문은 2013년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임

References

- [1] K. H. Jeong, S. Y. Chung, S. W. Na, "Machine Vision System for Inspection of Precision Bolts", Institute of Control, Robotics and Systems, pp.648-650, 2011.
- [2] K. H. Jeong, S. Y. Chung, S. W. Na, "A study on surface inspection algorithm for cylindrical part",

- Institute of Control, Robotics and Systems, pp.433-434, 2013.
- [3] S. M. Kim, Y. C. Lee, S. C. Lee, "Development of Inspection System of Welded Nuts on Support Hinge using Machin Vision" Journal of the Korean Society for Precision Engineering, pp.307-308, 2006.
- [4] K. H. Lee, Y. Kim, "A Development of the Side Inspection System for A Circularity Using 8 Side Mirrors Method", Journal of the Korean Institute Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.22, No.12, pp.56-63, 2008.
- [5] X. Xiong, U. J. Song, B. J. Choi, "Vision Based Position Detection System of Used Oil Filter using Line Laser", International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol.20, No.3, pp.332-336, 2010.
- [6] K. E. Sung, S. H. Rhee, "Development of multi-line laser vision sensor and welding application", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, pp.169-172, 2002.
- [7] Y. J. Lee, D. H. Kim, Y. B. Lee, "3-Dimension Inspection System Using CCD Camera and Line Laser", Journal of manufacturing engineering & technology, pp438-443, 2006.