

슬랜트방식을 이용한 스크류/볼트 선별검사시스템 개발

김용석*, 양순용⁺

(논문접수일 2010. 3. 18, 심사완료일 2010. 7. 26)

Development of the Sorting Inspection System for Screw/Bolt Using a Slant Method

Yong-Seok Kim*, Soon-Yong Yang⁺

Abstract

The machine vision system has been widely applied at automatic inspection field of the industries. Especially, the machine vision system shows good performance at difficult inspection field by contact method.

In this paper, the automatic system of a slant method to inspect screw/bolt shape using machine vision is developed. The inspection system uses pattern matching method that search similar degree of the lucidity, the average lucidity, length and angle of inspection set up area using a circular scan and a line scan method. Also the feeding method for inspection product is the slant method, and feed rate is controlled by the ramp angle adjustment. This inspection system is composed of a feeding device, a transfer device, vision systems, a lighting device and computer. and is composed the sorting discharge system of the inferior product. The performance test carried out the feeding speed, the shape correct degree and the sorting discharge speed according to the type of screw/bolt. This sorting inspection system showed a satisfied test results in whole inspection items. Presently, this sorting inspection system is being used in the manufacturing process of screw/bolt usefully.

Key Words : Screw/Bolt Inspection(스크류/볼트 검사), Slant Method(슬랜트방식), Sorting Inspection(선별검사), Machine Vision(머신비전), Pattern Matching(패턴매칭)

1. 서론

기계요소 중 부품 결합 및 고정에 사용되는 나사는 대형

기계에서부터 소형 전자제품에 이르기 까지 활용도가 가장 높은 기계요소 중의 하나이다. 일반적으로 나사는 결합물을 조일 때 모재의 암나사에 직접 고정하는 것을 스크류(screw),

* 울산대학교 기계기술연구소

+ 교신저자, 울산대학교 기계자동차공학부 (soonyy@ulsan.ac.kr)

주소: 680-749 울산광역시 남구 대학로 102 울산대학교 공학2호관 524호

모재를 관통하여 너트로 조여지는 것을 볼트(bolt)로 분류하고 있다. 현재 대부분의 스크류/볼트의 불량선별검사는 작업자의 불량기준에 대한 주관적 인지 및 판단에 근거하여 판별되고 있다. 이러한 방법은 단시간의 적은 양의 검사에는 가능하나 장시간 많은 양의 다품종 검사에는 한계가 있다. 이와 같은 다품종의 대량부품 검사에 적용할 수 있고, 다양한 형태의 검사 항목에 유연하게 대처할 수 있는 수단은 비접촉식이며, 실시간 검사가 가능한 컴퓨터 비전(computer vision) 검사시스템이 가장 효과적이다. 머신비전은 전기적, 광학적, 비접촉 방식의 기술을 이용하여 영상데이터를 얻고, 영상처리 및 분석을 통하여 목적하는 결론을 도출해 내는 기술이라 할 수 있으며, 최근 들어 국내에서도 부품검사 분야에 활발히 적용되고 있다. Nho 등은 오일씰의 실시간 검사 알고리즘 및 방법을 제시하였다⁽¹⁾. Kim 등은 강구 검사용 기계시각 장치를 구성하고 검사방법을 제시하였다⁽²⁾. Cho 등은 사용자 인터페이스를 통한 유연한 검사시스템을 제안하였다⁽³⁾. Yoon 등은 베어링 내외륜 절삭가공 표면검사 시스템을 생산현장에 적용하였다⁽⁴⁾. Jang 등은 3차원 볼스터더(ball stud)의 실시간 검사에 백라이트(back lighting) 기법을 적용하였다⁽⁵⁾. Choi 등은 드릴의 마멸을 측정하기 위해서 2개의 할로겐 광원 조명장치로 구성된 머신비전시스템을 제안하였다⁽⁶⁾. 이러한 비전검사시스템이 최적의 성능을 발휘하기 위해서는 검사객체의 효율적 이송이 전제되어야 하고, 영상캡처에 영향을 미치는 분진 등의 비산으로부터 안정한 상태를 유지하여야 한다.

본 연구에서는 고속이송을 위한 슬랜트 방식과 분진의 비산을 막기 위한 슬라이드 공급방식을 적용하여 기존의 정지된 오브젝트를 촬영하는 비전검사와는 달리 크기가 작고 고속으로 이송되는 오브젝트를 촬영하여 실시간으로 검사하는 비전검사시스템을 개발하였다.

2. 검사 시스템의 설계 및 제작

스크류/볼트 자동 선별검사시스템은 검사대상 부품을 공급 및 이송 그리고 선별 배출하는 기계부, 검사를 위한 비전 카메라, 조명, 컨트롤러, 컴퓨터로 구성되는 검사부, 검사부와 연계되어 기계부를 제어하는 제어부로 구성된다. 자동 선별검사시스템의 개념적 구성을 Fig. 1에 나타내었다.

기계부는 공급기(feeding device), 이송장치(transfer device), 선별 배출기(sorting discharge device)로 구성된다. 공급기는 다양한 형상과 크기를 만족시켜야 한다. 이에 최적화된

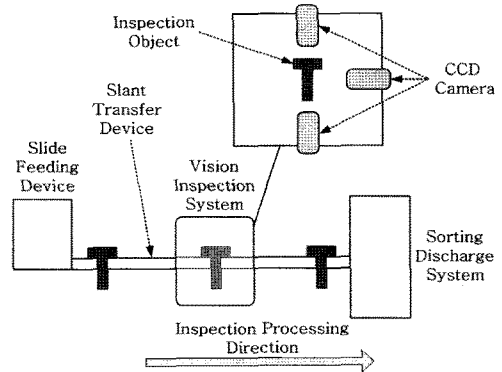


Fig. 1 Scheme of inspection system

공급이 이루어지기 위해서는 스크류/볼트의 종류별로 공급기가 제작되어야 한다. 또한 기존의 볼 피더(bowl feed)는 비교적 정렬이 간단하고 높이가 있는 부품에 유리하지만 볼 내부에서 회전차찰로 도급이 벗겨지는 등 분진발생의 원인이 되어 검사 과정에서 문제를 야기하는 단점이 있다⁽⁷⁾. 따라서 하나의 공급기로 최대한 다양한 형상의 볼트에 대응할 수 있고 분진의 발생을 일으키지 않는 슬라이드 공급기를 설계하였다. 이송장치는 스크류/볼트의 머리 검사와 측면 검사를 위해 스크류/볼트의 머리가 완전히 노출되어야 하고, 나사산도 카메라에 모두 노출된 상태로 이송이 가능하여야 한다. 사이드 벨트(side belt)를 이용한 이송장치는 나사산 길이의 검출 시 벨트 간섭, 정상적인 볼트보다 큰 불량 볼트가 이송될 시는 결림 문제 그리고 검사 대상이 바뀔 때 마다 벨트의 폭을 조절하여야 하는 단점이 있었다. 사이드 벨트 이송방식을 보완하기 위해서 2개의 투명유리를 V자형의 구조와 55° 이상의 경사를 주어 검사객체가 미끄러지면서 자유낙하 함으로써 빠르고 안정적으로 이송되도록 고안한 슬랜트 방식의 이송장치를 설계하였다. 슬랜트 방식의 검사 이송장치와 슬라이드 방식의 공급기 설계 CAD 모델은 각각 Fig. 2의 (a), (b)와 같다.

설계를 바탕으로 슬랜트 이송장치의 시제품은 Fig. 3의 (a)와 같고, 슬라이드 공급기의 시제품은 Fig. 3의 (b)와 같다.

선별배출기는 정상제품과 비정상제품을 검사시스템으로부터 신호를 받아 선별하는 기능을 한다. 선별 배출기는 비정상제품으로 판정 시 PLC로부터 신호를 받아 5ms 이내에 작동하도록 구성하였다. 배출속도는 검사시간을 초과하지 않아야 하며, 배출대상 객체의 위치는 광센서에 의해 감지되고 배출기가 작동되도록 하였다. 선별배출기의 구동기와 설치상태를 Fig. 4에 나타내었다.

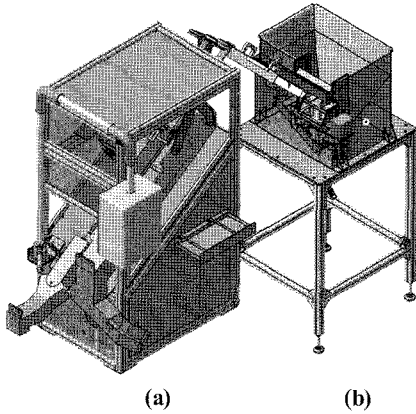


Fig. 2 CAD Model of inspection system

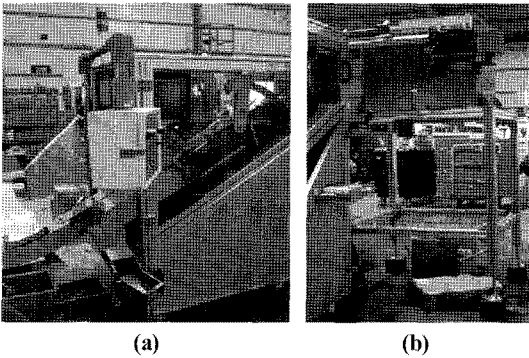


Fig. 3 Prototype of slant inspection system and slide feeding system

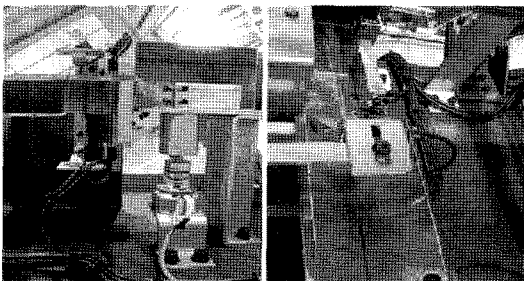


Fig. 4 Sorting discharge system

카메라, 조명, 컨트롤러로 구성된 검사부는 진동에 민감한 부분이다. 특히 카메라 영상의 질은 작업장 조명에 큰 영향을 받게 된다. 검사시스템 검사부의 설치에 Fig. 5와 같고, 하드웨어 사양은 Table 1과 같다. Fig. 5의 (a), (b)는 각각 상면부와 측면부 카메라의 설치를 나타낸다. 그리고 비전 카

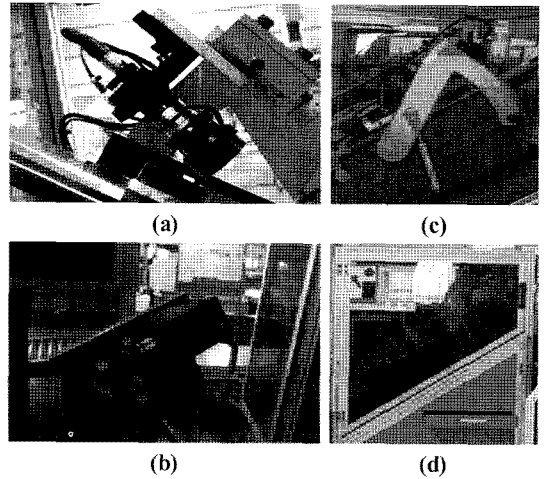


Fig. 5 Machine vision system

Table 1 Hardware specification

Items	Specification	Remark	
Vision Camera	Model: RX-HR70 PIXELS: 1024×768 Capture Speed: 29 frames/sec	SONY	
Ring Light	Type: Shower type Model: LDR80/40-R-24V-3W	L-FINE	
PC	CPU	Pentium 733MHz	Intel
	Catch	2nd level 256KByte	
	Memory	256MB SDRAM(up to 512MB)	Samsung
	Parallel	Input 8P, Output 8P	
Photo Sensor	Model: BJN100-NDT-P Detector: 100mm±30mm	Autonics	
Programming	MS-VISUAL C++	Microsoft	

메라의 고정 기구는 진동을 줄일 수 있고, 셋팅을 위한 카메라의 위치 조정이 가능하도록 Fig. 5의 (c)와 같이 하였다. 또한 작업장의 불균일한 조명의 영향을 피하도록 암실을 Fig. 5의 (d)와 같이 설치하였다.

3. 영상처리 검사시스템

3.1 머신비전 시스템

머신비전 검사시스템은 공급기를 통해 스크류/볼트가 이송장치로 공급되면 CCD카메라를 이용하여 스크류/볼트의

위쪽과 측면 영상을 획득하게 되고, 영상분석과 영상처리를 통해 검사를 수행하게 된다. 검사결과는 통신(RS-485)을 통해 PLC에 전달이 되며, 선별배출기를 통해 정상제품과 비정상제품을 선별하게 된다. 머신비전을 이용한 스크류/볼트의 선별검사시스템의 작동과정은 Fig. 6과 같다. 선별검사는 스크류/볼트의 머리 윗면과 아랫면 그리고 측면부의 형상을 이미지로 획득하여 PC에 입력되어 있는 검사 참고모델과 비교하며 각 검사항목을 수행하게 된다. 스크류/볼트의 머리 윗면 이미지에서는 외경, 머리 형상, 중심점을 측정하여 제품 이종, 머리 형상 불량, 머리의경 초과/미달을 검사하고, 아랫면 이미지에서는 동심도를 검사하게 된다. 그리고 측면부 이미지에서는 나사산의 유무, 유효나사길이를 측정하여 검사하게 된다. 검사처리를 위한 PC 프로그램의 작업 뷰(GUI)는 검사객체 이미지 뷰, 작업설정 뷰, 티칭 및 시작/종료 등 6개로 구성하였다. 이미지 뷰는 윗면 카메라와 측면 카메라가 획득한 검사객체 이미지를 보여 주도록 하였다. 작업설정 뷰는 검사결과설정, 일반설정, 장비설정, 프로그래머로 총 4개의 탭으로 구성하였다. 티칭 및 작업 시작/종료는 작업의 티칭설정과 티칭 파일저장, 티칭 파일열기, 시스템의 가동 및 정지로 구성하였다.

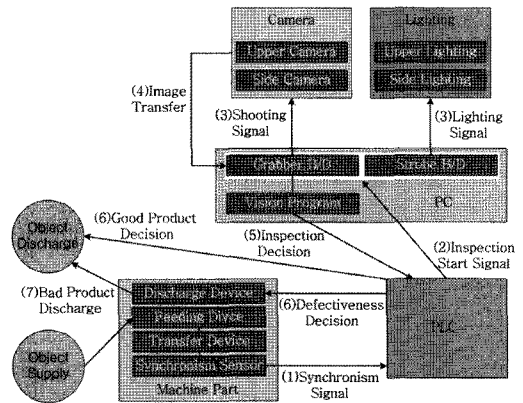


Fig. 6 Inspection progress of machine vision system

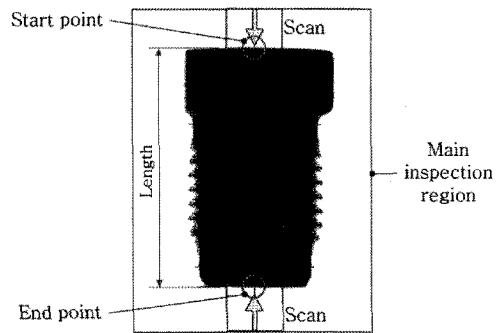


Fig. 7 Inspection principle by line-scanning

3.2 검사원리

카메라로 촬영된 이미지는 네모의 픽셀(pixel, 화소)로 구성되어 있으며, 이 픽셀들은 각각의 밝기 값과 색상 값을 가짐으로써 부드러운 실제와 같은 사진으로 표현된다. 비전 시스템에서는 촬영되는 이미지는 흑백이므로 색상 값은 없으며 밝기 값만을 가진다. 픽셀의 밝기는 숫자로 나타내어지며 검은색을 0, 흰색을 255의 값으로 인식한다. 즉, 모든 픽셀은 0~255 사이의 밝기 값에서 존재한다. 따라서 비전 프로그램에서는 이 픽셀의 밝기 값을 이용하여 검사를 수행한다. 본 머신비전을 이용한 스크류/볼트 실시간 선별검사 시스템은 픽셀의 밝기의 차이에 따라 밝은 부분과 어두운 부분의 경계면을 검출해 내는 라인 스캐닝(line-scanning)법과 원형의 툴을 설치한 영역 안에서 모양이 달라서 밝기가 달라지는 차이를 잡아내는 원형 스캐닝(circle-scanning)법을 이용한 패턴매칭(pattern matching)에 의한 유사도에 따른 판별이 이루어진다^{(8),(9),(10)}.

라인 스캐닝은 객체의 검사영역을 설정해 주면 설정해둔 검사영역에서 객체의 방향으로 스캔해 들어가면서 객체의 위치를 검출하게 된다. 그리고 검사하고자 하는 부분의 시작점과 끝점을 검출해서 그 사이의 거리를 구하는 방식이며, 이를 Fig. 7에 나타내었다. 원형 스캔은 정상제품의 이미지

와 비교하여 밝기가 변화되는 부분에 원형 툴을 설정하여 판별한다. 툴을 설정한 영역 내에서 비정상제품의 기준이 되는 밝기 값의 한계영역을 설정해 두고 기준 값과 비교하여 판별한다. 즉, 정상제품과 비정상 제품 이미지의 모양이 달라서 밝기가 달라지는 차이를 찾아내는 개념으로 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 9의 (a)는 참고모델의 정상적인 원형스캔 티칭라인을 나타내고 (b)와 (c)는 비정상적인 편심불량, 벵불량의 예를 각각 나타낸다. 평균 밝기는 툴을 설치한 영역 안에 있는 모든 픽셀의 밝기 값에 대한 평균을 구하게 된다. Fig. 9의 (d)와 같이 마크가 되어 있는 제품이 정상제품이고, (e)와 같이 없는 것이 불량이라면 (e)는 흰색이 대부분이므로 255에 가까운 평균값이 나오게 되고, (d)는 마크에 있는 어두운 부분 때문에 작은 값이 나오게 되어 판별이 가능하게 된다.

본 연구의 스크류/볼트의 윗면 검사는 원형 스캔, 밝기 비교, 평균 밝기 등 3가지의 방법을 사용하였다. 원형 스캔은

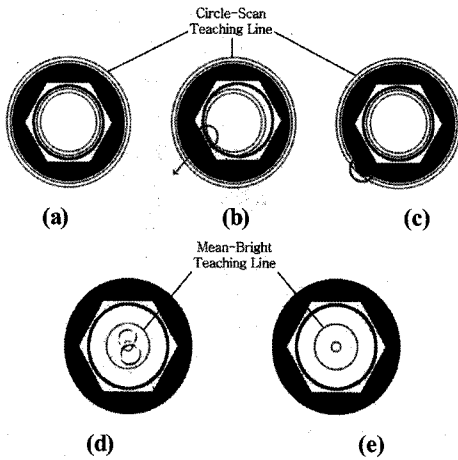


Fig. 8 Inspection principle by circle-scan and mean-bright

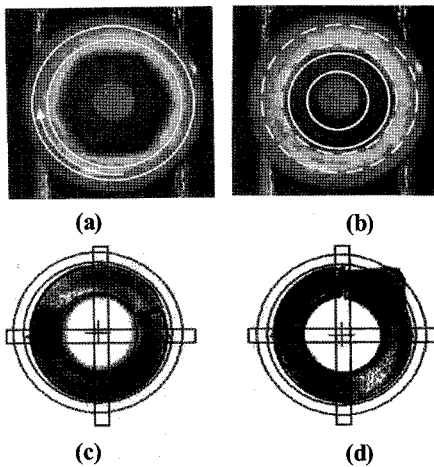


Fig. 9 Actual inspection by circle-Scan

편심불량, 버 불량, 일정한 부위의 찍힘 불량 등에 사용하였고, 밝기 비교는 렌치 구멍 유무를 측정하는데 사용하였다. 그리고 평균 밝기는 마킹 유무, 도금 불량 등을 판별하는데 사용하였다.

4. 성능시험 및 고찰

본 머신비전 검사시스템은 PC를 통해서 소프트웨어적인 명령에 의해 이루어진다. 검사대상 객체가 공급되면 동기센서에 의해 비전 카메라에 촬영의 지시가 내려지고, 촬영된

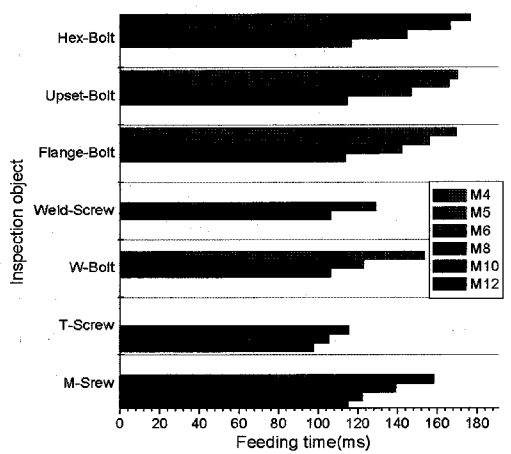


Fig. 10 Test results of feeding time for screws/bolts

이미지 데이터는 PC로 전달되어 비디오메모리에 저장된다. 이때 PC는 촬영된 이미지와 티칭을 통해 기 저장된 이미지와 패턴매칭을 통하여 검사를 완료하게 된다. 검사결과에 따라 기계제어 PLC시스템과 통신하여 결과를 처리하게 된다.

본 머신비전을 이용한 스크류/볼트의 선별검사시스템의 성능검정은 스크류/볼트의 종류별 선별검사 및 배출시간 그리고 선별정확도를 측정하였다. 검사대상 객체는 종류별 500개로 한정하고 정상제품 480pcs, 비정상제품 20pcs로 구성하였다. 그리고 검사 반복횟수는 10회로 하였다. 검사대상 스크류/볼트의 규격과 검사 항목은 전술한바와 같다. 스크류/볼트의 종류별 공급기로부터 검사영역 내로 이송되는 속도는 Fig. 10과 같고, M-screw, T-screw, Welding -bolt, Welding-stud, Flange-bolt, Upset-bolt, Hex-bolt의 테스트 결과를 각각 나타낸다. 이송속도는 스크류/볼트 크기가 작을수록 빠르게 나타났으며, Hex-bolt류가 가장 느린 것으로 나타났다. T-screw 테스트에서 나타난 M4의 이송속도는 500/97.75pcs/sec로 초당 약 5.1개(분당 307개)가 이송되어 가장 빠른 속도를 보였다. 그리고 전 검사대상 스크류/볼트의 규격 M8이하에서는 200pcs/min 이상의 속도로 이송이 가능한 것으로 나타났다. 본 비전 검사시스템의 이미지 획득 시간은 1사이클(cycle)당 약 50ms가 소요되었으며, 검사처리 시간은 약 110ms가 소요되었다. 즉 1개의 오브젝트를 검사하는데 소요시간은 160ms로 나타났다. 그리고 이송시간은 200~360ms 범위에서 소요되고 있어, 검사처리에서는 전혀 문제가 발생하지 않았다. 이는 공급속도와 이송속도를 높임으로써 생산성을 향상시킬 수 있음을 의미한다. 본 검사

조건에서 선별검사의 정확도는 500pcs의 대상오브젝트 중 20pcs의 비정상제품이 완벽하게 선별처리 되었다. 이와 같이 선별검사결과는 모든 검사대상 오브젝트에서 동일한 결과를 나타내어 높은 신뢰도를 나타내었다. 생산현장에서는 본 검사시스템을 구축함으로써 각 스크류/볼트의 타입별 검사시간을 분석하여 생산계획에 반영할 수 있게 되었다. 또한 높은 검사 신뢰도는 후속공정의 자동화 연계에 신뢰를 줄 수 있게 되었다. 특히 육안으로는 검사하기 어려웠던 빛나사 검사(나사선 각도의 비틀어짐 검사)를 완벽하게 해결함으로써 빈번하던 클레임이 사라지게 되었다.

5. 결론

본 논문에서는 슬랜트 방식의 이송장치와 슬라이드 방식을 적용한 공급기를 개발하고, 머신비전을 이용한 스크류/볼트 선별검사를 위한 자동화 시스템을 구축하였다. 검사 알고리즘은 원형 스캔과 라인 스캔 방식에 따른 설정검사영역의 밝기, 평균밝기와 길이, 각도 등의 측정을 통해 유사도를 구하는 패턴매칭법을 적용하였다. 본 슬랜트 선별검사시스템은 공급기, 이송장치, 비전카메라, 조명, 컨트롤러, 컴퓨터로 구성하였고, 또한 검사결과에 따라 비정상제품을 선별 배출하는 시스템으로 구성하였다. 성능실험은 스크류/볼트의 종류에 따른 이송속도, 선별검사의 정확도, 배출 처리속도 등을 측정하였다. 본 검사시스템의 성능시험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 본 검사시스템의 슬랜트 방식은 각도를 조절함으로써 이송속도를 조절할 수 있어 검사처리속도에 따라 조절이 가능하여 검사성능을 최적화할 수 있게 되었다.
- (2) 본 검사시스템에서 제안한 슬라이드 공급기는 기존 볼 피더기의 단점을 처리하여 비전시스템에 유리한 환경을 제공함으로써 검사성능을 최대화할 수 있게 되었다.
- (3) 본 검사시스템의 이송속도는 검사대상 스크류/볼트 중 M8 이하에서는 분당 200pcs 이상을 이송할 수 있었으며, T-screw M4의 속도는 307pcs/min로 가장 빠른 이송속도를 보였다.
- (4) 본 비전 검사시스템의 이미지 획득시간은 1사이클에 약 50ms가 소요되었고, 검사처리시간은 약 110ms가 소요되어, 1개의 검사오브젝트 검사시간은 약 160ms가 소요되었다.

- (5) 본 검사 이송시스템의 이송시간은 200~360ms 범위에서 소요되어, 검사처리속도에서 40ms 이상의 유휴시간이 발생하여, 이송속도를 개선함으로써 생산성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.
- (6) 본 연구의 실험조건에서는 100%에 가까운 선별정확도를 나타내었다.

참고 문헌

- (1) Loh, B. G., Kim, D. H., and Park, Y. K., 2004.5, "Development of an Inspection Machine for Automotive Oil-Seals Using Machine Vision," *Transactions of the KSAE of Korean*, Vol. 12, No. 3, pp. 184~191.
- (2) Kim, Y. S., Park, S. W., Lim, B. H., Kim, T. G., Choi, B. J., Park, C. Y., Lee, M. R., and Do, Y. T., 2008, "Automatic Metal Ball Inspection System Using Machine Vision," Daegu University, *The Journal of Computer & Communication Research*, Vol. 5, No. 1, pp. 93~98.
- (3) Cho, I. S., Lee, J. H., and Oh, S. J., 2008, "Development of The Flexible User-Friendly Real-Time Machine Vision Inspection System," *Journal of the institute of electronics engineers of Korea*, Vol. 45, No. 3, pp. 42~50.
- (4) Yoon, J. Y., Lee, Y. C., Pang, D. Y., and Lee, S. C., 2006, "Surface Inspection System of Bearing Inner/Outer Race using Machine Vision," *Korean Society of Precision Engineering 2006 Spring Conference*, pp. 309~310.
- (5) Jang, Y. H. and Han, C. S., 1997, "A Study of the B/STUD Inspection System Using the Vision System," *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering 1997 Autumn Conference*, pp. 1120~1123.
- (6) Choi, Y. J. and Chung, S. C., 2006, "Monitoring of Micro-Drill Wear by Using the Machine Vision System," *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 30, No. 6, 713~721.
- (7) Park, J. S., Jeong, Y. M., Kim, H. S., Kim, Y. S., and Yang, S. Y., 2009, "Development of Inspection

- System for Screw/Bolt Shape Using Machine Vision," *Proceeding of the KSMTE Autumn Conference 2009*, pp. 200~205.
- (8) Gaidaichuk, I. V. and Yasinski, E. V., 1998, "Visualization of Scenes of Quadratic Objects Using Line Scanning," *Journal of Automation and Information Sciences C/C of Avtomatika then Problemy Upravleniia I Informatiki*, Vol. 30, No. 2-3, pp. 159~163.
- (9) Varis, J., Oksanen, M., Rantala, J., and Luukkala, M., 1994, "Observations on Image Formation in the Line Scanning Thermal Imaging Method," *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, Vol. 14, No. 1, pp. 447~452.
- (10) Bae, S. K., Park, I. Y., Kang, S. W., and Cho, J. H., 2003, "High Speed LAPS System for pH Image Using Line Scanning with a Chopping Wheel," *IEICE transactions on electronics*, Vol. E86-C, No. 6, pp. 1109~1113.