

광선추적을 이용한 정밀나사 비전검사용 광학계의 결상특성 향상

Improvement of the Optical Characteristics of Vision System for Precision Screws Using Ray Tracing Simulation

백순보¹, 이기연¹, 주원종², 박근^{2,✉}, 나승우³
 Soon Bo Baek¹, Ki Yeon Lee¹, Won Jong Joo², Keun Park^{2,✉} and Seung Woo Ra³

¹ 서울과학기술대학교 NID 융합기술대학원 (Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul Nat'l Univ. Sci. Tech.)

² 서울과학기술대학교 기계설계·자동화공학부 (Mechanical Design and Automation Engineering, Seoul Nat'l Univ. Sci. Tech.)

³ 서울금속(주) 연구소 (Research Center, Seoul Metal Co.)

✉ Corresponding author: kpark@seoultech.ac.kr, Tel: 02-970-6358

Manuscript received: 2011.4.1 / Accepted: 2011.6.18

Recent trends for the miniaturization and weight reduction of portable electronic parts is the use of subminiature components. Assembly of the miniaturized components requires subminiature screws of which pitch sizes are in a micrometer scale. To produce such a subminiature screw with high precision threads, not only a precision forming technology but also high-precision measurement technique is required. In the present work, a vision inspection system is developed to measure the thread profile of a subminiature screw. Optical simulation based on a ray tracing method is used to design and analyze the optical system of the vision inspection apparatus. Through this simulation, optical performance of the developed vision inspection system is optimized. The image processing algorithm for the precision screw inspection is also discussed.

Key Words: Vision Inspection System (비전검사기), Precision Screw (정밀나사), Image Processing (영상처리), Optical Simulation (광학해석), Ray Tracing (광선추적)

1. 서론

나사(Screw)는 나선형의 나사산과 골을 이용하여 다수개의 부품을 고정시키는 목적으로 사용되는 부품으로 자동차, 전자, 기계부품 등의 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다. 최근 휴대폰을 비롯한 이동통신 기기의 소형화 및 경량화 추세에 의해 초소형 고정밀 나사의 개발이 요구되고 있다. 초소형 고정밀 나사의 생산을 위해서는 나사의 정밀가공 기술뿐 아니라 안정적인 품질평가 기술이 요구된다. 기존의 나사 생산공정에서는 통상적으로 육안 샘플검사를 통해 품질을 평가하였으나,

초소형 고정밀 나사의 경우 양산 초기단계에서는 전수검사가 요구되는 실정으로 보다 신뢰성이 있는 고속 검사기술이 요구된다.

최근 비전(Vision) 시스템을 사용하여 정밀부품, 반도체, 디스플레이 등의 생산공정에서 고속으로 제품의 치수측정 및 품질검사를 수행하는 연구결과가 발표되고 있다.¹ 비전 시스템은 카메라에 의해 획득된 영상을 분석하여 제품의 형상정밀도, 표면결함 등을 실시간으로 판정하는 기술로서 기존에 육안으로 실시하던 다양한 업무의 자동화에 활용되고 있다.²⁻⁵ 비전 시스템의 성공적인 적용을 위해서는 검사 대상품의 특성에 맞는 광학계, 조

명장치, 부품이송장치 등의 하드웨어적 요소와 영상처리 알고리즘, 제어알고리즘 등의 소프트웨어적인 요소에 대한 개발이 필요하다.

본 연구에서는 휴대폰 및 소형 전자부품에 사용되는 소형 정밀나사(직경 3.0 mm, 피치 0.5 mm)의 자동검사 및 양불판정을 위한 비전시스템을 개발하고자 한다. 상기 소형 나사산의 피치정밀도 검사를 위해서는 마이크로미터급의 분해능을 확보해야 하는데, 이는 기존 머신비전을 사용한 나사형상검사 관련 연구에서 상대적으로 큰 형상(피치 1.0 mm 이상)의 나사를 대상으로 한 점을 감안할 때^(2,9) 비전검사 광학계의 분해능 개선이 필요함을 의미한다. 또한 통상적으로 산업현장에서 일 100 만개 이상의 제품이 생산됨을 감안할 때¹⁰ 검사속도의 향상이 요구되고 있다.

상기 요구사항을 만족시키기 위해서는 소형 정밀나사 자동검사 시스템의 측정정밀도와 측정속도의 고도화가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 이를 위해 광선추적(Ray tracing)을 사용하여 비전광학계의 결상성능 향상을 위한 최적의 설계사양을 결정하고, 이를 기존의 광학계 설계에 사용되던 근축광학(Paraxial optics) 기반 이론적 접근결과와 비교하여 제안된 기법의 신뢰성을 검증하도록 하겠다. 또한 비전시스템의 고속 영상처리를 위해 획득한 영상을 사용한 형상측정에 소요되는 연산시간 최소화화를 위한 영상처리 알고리즘을 구현하여 정밀나사 자동검사용 고속/고정밀도 비전시스템 개발을 위한 제반 연구를 수행하고자 한다.

2. 정밀나사 비전검사 시스템의 구성

2.1 정밀나사 자동검사를 위한 형상정보

본 연구에서 개발하고자 하는 비전검사시스템은 정밀 전자부품에 많이 사용되는 M3(외경 3.0 mm, 길이 6.0 mm, 피치 0.5 mm) 나사를 대상으로 선정하였다. Fig. 1 에 M3 나사의 형상 및 형상정밀도 평가시 활용되는 주요 치수를 도시하였다. 본 나사의 머리부는 단조(Forging) 공정으로, 측면 나사산 부분은 전조(Thread rolling) 공정에 의해 제작된다. Table 1 에 M3 나사에 대한 2 급 나사 기준의 측정부위별 기준치수 및 허용공차를 도시하였으며, 특히 피치정밀도 분석을 위해서는 마이크로미터급의 분해능을 필요로 함을 알 수 있다.

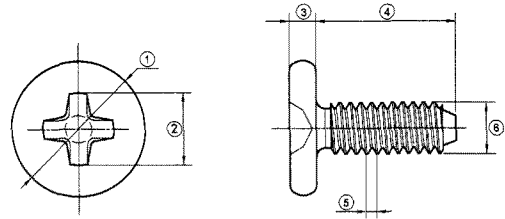


Fig. 1 Configuration of a precision screw (M3x6) with its dimensional parameters

Table 1 Specifications of the precision screw (unit: mm)

No.	Description	Dimension	Tolerance
1	Head diameter	5.0	-0.3 ~ 0
2	Bit size	2.6	-0.2 ~ 0
3	Head thickness	1.0	-0.2 ~ 0
4	Shank length	6.0	-0.4 ~ 0
5	Thread pitch	0.5	-0.01 ~ 0.01
6	Major diameter	3.0	-0.12 ~ 0

2.2 비전검사시스템의 기본 구성

정밀나사 비전검사시스템은 나사의 머리부분과 측면부 형상을 검사하기 위한 영상을 획득하고 분석하여 제품의 불량 확인을 목적으로 한다. Fig. 2 에 정밀나사용 비전검사 장비의 기본 구성을 도시하였다. 장비는 크게 제품 공급부, 검사부 및 후처리부로 구성된다. 제품 공급부에서는 호퍼(Hopper)에 투입된 나사가 회전공급기(Bowl feeder)를 통해 직진공급기(Linear feeder)로 공급되며, 최종적으로 회전원판(Index table) 상에 놓여 검사부로 이동하게 된다. 후처리부에서는 제품의 형상검사 결과에 따라 양품 및 유형별 불량품을 분류하여 배출하는 작업을 담당한다.

검사부는 비전검사 장비의 중추적인 역할을 수행하는 부분으로 광학부, 조명부, 영상처리부로 구성되어 있다. 이중 광학부는 광신호를 전기신호로 변환하는 CCD 카메라와 광신호를 결상(focusing) 또는 집광(collimating)하는 역할의 광학렌즈로 구성되어 있다. 본 비전검사 시스템에서는 나사의 측면부와 머리부의 형상검사를 위해 2 개의 광학부를 포함하고 있다.

조명부는 피사체의 원활한 촬영을 위해 LED 광원을 사용하고 있는데, 머리부에는 전방조명(Front light), 측면부에는 후방조명(Back light)을 사용한다. 영상처리부는 카메라 촬영을 통해 획득한 제품의 영상을 검사기준에 맞추어 알고리즘을 구

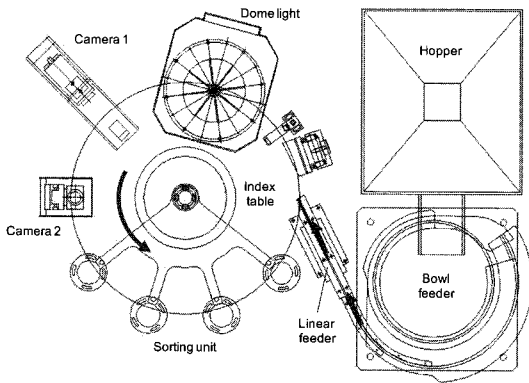


Fig. 2 Schematic description of vision-inspection system

동시켜 인식 대상 제품과 형상매칭 과정을 거쳐 확인하는 역할을 하는 영상처리 프로세서와 관련 소프트웨어로 구성된다. 본 논문에서는 이중 광학부에 대한 분석은 3 장에서, 영상처리부에 대한 분석은 4 장에서 다루도록 하겠다.

3. 비전검사 광학계의 결상특성 분석

3.1 비전검사 광학계의 이론적 분석

Fig. 3 에 본 연구에서 사용한 비전시스템 광학계의 개략도를 도시하였다. 카메라는 Sony XC-HR50 CCD 카메라를 사용하였으며, 화면치수(CCD size; B)는 3.6 mm 에 해당한다. 측정대상 나사의 치수를 고려한 시야범위(Field of view; A)는 8.3 mm 로 설정하였고, 결과적으로 배율(Magnification ratio; M)은 0.4337 로 계산되었다. 상기 결과로부터 측정대상물과 렌즈, 카메라간의 거리(a, b)는 다음과 같이 계산된다.⁶

$$a = f(1 + M) / M \tag{1}$$

$$b = f(1 + M) \tag{2}$$

여기서 f 는 렌즈의 초점거리(focal length)를 의미한다. 본 연구에서는 Moritex ML-3519 렌즈를 사용하였으며, 초점거리는 35 mm 이다. 상기 조건 하에서 비전광학계의 작동거리(Working distance; WD)는 식 (3)과 같이 계산된다.

$$WD = a + b - l_{lens} - l_{ring} - l_{mount} \tag{3}$$

여기서 l_{lens} , l_{ring} , l_{mount} 는 각각 렌즈, 접사링, 카메라 마운트부의 길이를 의미한다. 식 (3)을 사용하여 최종 작동거리는 104.35 mm 로 계산되었으며, 상기 결과를 바탕으로 비전시스템의 광학계의 초기설계를 실시하였다.

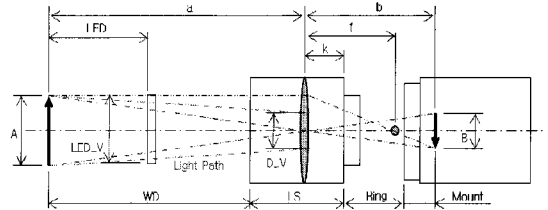


Fig. 3 Configuration of the vision optical system

3.2 광선추적을 사용한 결상특성 분석

설계된 비전검사 광학계에 대해 광선추적 시뮬레이션을 수행하였다. 광선추적은 CODE V[®]을 사용하여 수행하였다.⁷ 본 연구에서 사용한 Moritex ML-3519 렌즈는 총 4 개의 렌즈로 구성되어 있으며, 초기 작동거리는 식 (3)을 통해 계산된 104.35 mm 로 설정하였다. 물체높이는 나사의 크기를 고려하여 6.9 mm (입사각 3° 해당)로 설정하였다.

Fig. 4 에 광선추적 결과를 도시하였다. 결과를 보면 다양한 입사각과 파장의 빛이 상면에서 결상됨을 확인할 수 있다. Fig. 5 에 입사각 및 초점거리 변화에 따른 초점선도(Spot diagram) 결과를 도시하였다. 그림에서 가로축은 초점거리 변화량(Amount of defocusing)을 의미하며 세로축은 광선의 입사각(Field angle)을 의미한다.

Fig. 4 를 보면 대체적으로 상면에서 결상되는 것으로 보인다. 그러나 Fig. 5 의 상세 결과를 보면 입사각이 0°인 경우, 즉 평행광인 경우 상면(Defocusing: 0)에서의 초점경이 17.44 μm 로 나타남을 알 수 있다. 이는 카메라의 최소 픽셀크기가 7.4 μm 인 점을 감안하면 카메라의 분해능을 제대로 구현하지 못함을 의미한다. 또한 음의 변동량이 발생하는 경우, 즉 초점거리가 줄어들수록 초점경이 감소하여 상면에서 초점을 맺지 못함을 알 수 있다. 상기 문제점은 초기 설계에서 설정한 작동거리가 근축광학 이론(Paraxial theory)에 기초하였기 때문에 발생한 오차로 분석된다.

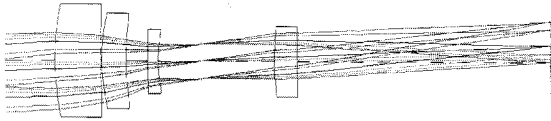


Fig. 4 Estimated ray paths in the optical system

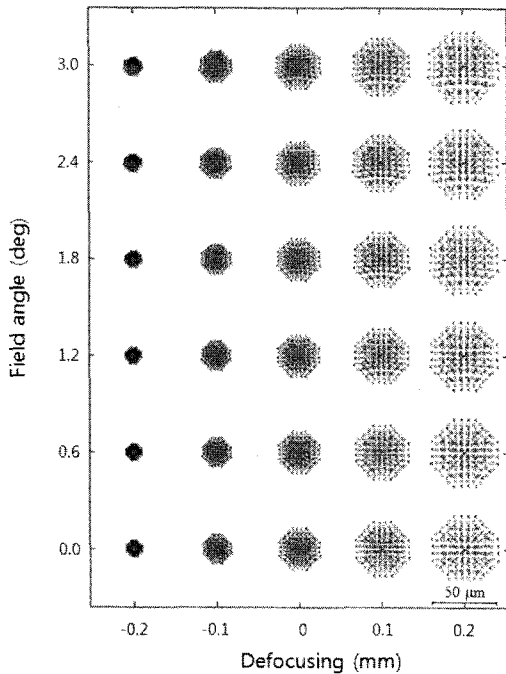


Fig. 5 Spot diagram for the initial design

따라서 본 연구에서는 최적의 설계조건을 찾기 위해 물체의 작동거리를 변화시키며 광선추적을 수행하여 결상특성의 변화를 고찰하였다. 이를 위해 작동거리를 100 mm 에서 107 mm 사이에서 1 mm 간격으로 증가시켰으며, 변곡점이 발생하는 103 mm 부근에서 간격을 세분화하여 광선추적을 수행하였다. Fig. 6 에 작동거리 변화에 따른 초점경의 변화를 그래프로 도시하였다. 그래프를 보면 작동거리가 102.8 mm 인 경우 초점경이 2.75 μm 로 감소하여 초기 설계안의 결과에 비해 1/6 이하로 감소되었음을 알 수 있다. 이러한 결과는 카메라의 최소 픽셀크기(7.4 μm) 이하로 원하는 분해능을 구현할 수 있는 것으로 분석된다.

상기 결과에서 얻어진 최적의 작동거리(102.8 mm)일 때의 초점선도를 Fig. 7 에 도시하였다. 초점면(Defocusing: 0)일 경우가 초점경이 가장 작은 특

성을 보여 최적의 결과를 보임을 확인할 수 있었다. 반면 초점거리 변화량이 발생한 경우 구면수차(Spherical aberration)의 증가로 인해 초점경이 크게 증가함을 알 수 있다. 예를 들어 평행광의 경우 초점거리 변화량이 0.2 mm 일 때 초점경이 11.73 μm 로 증가하여 4 배 이상 증가한 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서는 카메라와 접사렌, 렌즈를 일체형으로 조립하여 사용함으로써 렌즈와 카메라간의 위치오차가 발생하지 않도록 하였다.

한편 입사각의 변화가 발생한 경우 코마수차

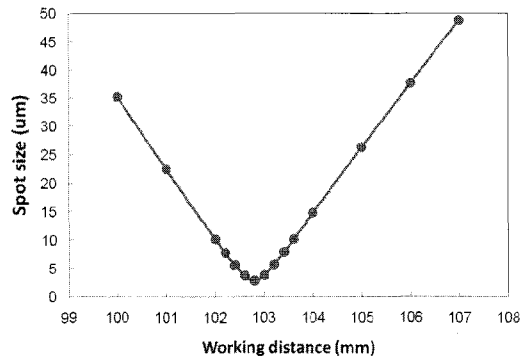


Fig. 6 Spot size change w.r.t. the working distance

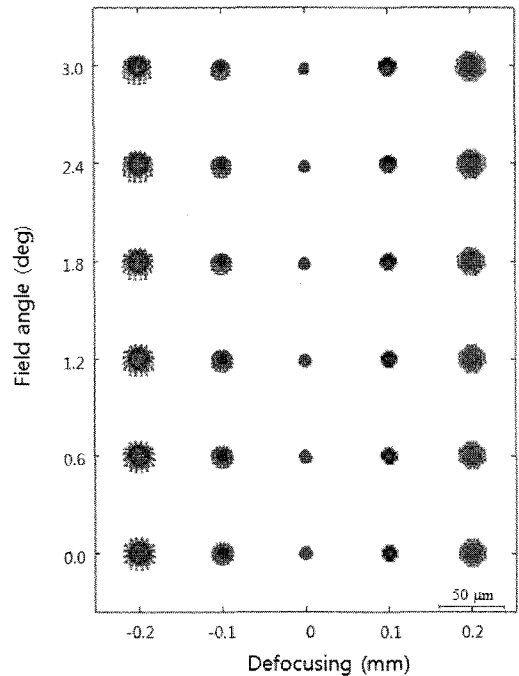


Fig. 7 Spot diagram for the modified design

(Coma aberration)의 증가로 인해 초점선도의 방향성이 증가하여 결과적으로 초점경이 증가하는 것으로 나타났다. 초점면의 경우 입사각이 3°일때 초점경이 2.81 μm 로 평행광 대비 2.2% 증가하였다. 그러나 상기 증가율은 초점거리 변화량의 경우에 비해 상대적으로 영향이 적은 것으로 분석된다.

4. 비전시스템을 사용한 정밀나사 형상검사

4.1 정밀나사 비전검사 알고리즘

앞장에서 기술된 광학설계에 기초하여 비전검사 광학계를 구성하였다. Fig. 8 에 제작된 광학계를 포함한 검사부 장치의 주요 구성을 도시하였다. 본 연구에서는 상기 검사부를 사용한 정밀나사의 치수 검사 및 결함 판별을 위해 영상처리 및 제어 알고리즘을 통합한 비전 검사 S/W 를 개발하였다. Fig. 9 에 비전검사 시스템의 주요 과정을 순서대로 도시하였다. 전체적으로 나사의 이송을 담당하는 이송과정(Feeding process)과 검사를 담당하는 검사과정(Inspection process)으로 구분되는데, 이중 검사과정의 주요 알고리즘을 살펴보도록 하겠다.

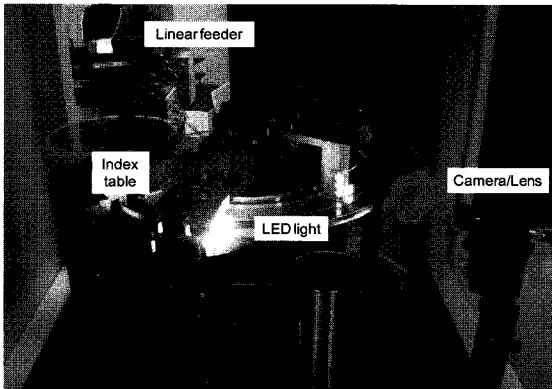


Fig. 8 Developed vision inspection unit for screw parts

통상의 고속이송물체의 형상 및 결함 측정 시스템에서는 전통적인 영상처리 알고리즘은 많은 연산시간이 소요되어 사용할 수 없기 때문에 각각의 측정부위에 대한 단순한 알고리즘을 개발하여 연산시간을 최소화하여야 한다. 본 연구에서 개발된 검사 알고리즘은 크게 영상 획득, 전처리, 후보좌표 및 관심영역(Region of interests: ROI) 추출, 결합 검사, 검사 판정 순으로 진행된다. 정밀나사의 형상검사는 측면 카메라를 이용한 나사산 치수 검사와 정면 카메라를 이용한 머리부 치수 검사로

이루어진다. 2 가지 방법에 대해 전체적인 나사 검사 알고리즘은 유사하게 진행되나 세부적인 후보좌표 및 관심영역 추출과 결합 검사 단계에서 상이한 방법이 적용된다. 본 논문에서는 4.3 절과 4.4 절에 각각 측부 나사산 검사과정과 머리부 치수 및 결합 검사과정으로 구분하여 기술한다.

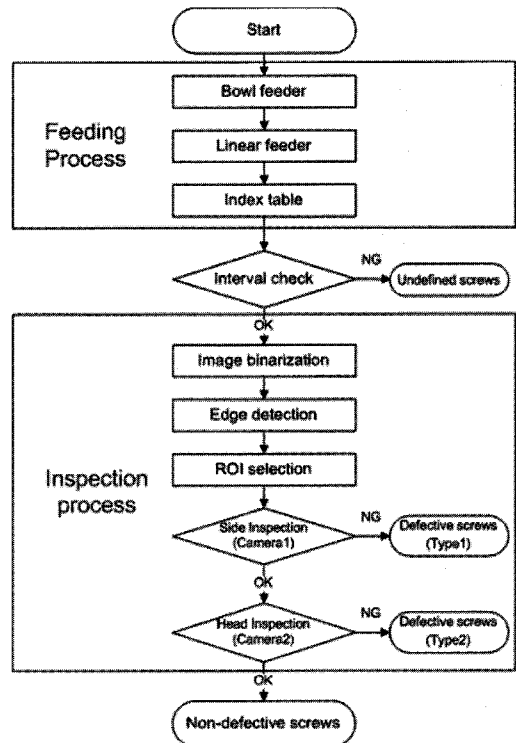


Fig. 9 Flow chart of the vision inspection system

4.2 검사영역 전처리 과정

실제 작업현장에서 카메라와 조명을 이용하여 나사의 영상을 획득하면 각종 잡음과 조명의 영향이 포함된다. 이와 같이 불필요한 정보를 포함한 영상으로부터 측정대상 영역의 영상을 추출하기 위해서는 조명과 잡음을 제거하고 검사 대상을 배경과 더욱 명확하게 분리하여 카메라로부터 획득된 영상을 향상시키는 전처리(Pre-processing) 과정이 필요하다.

일반적으로 전처리 방법으로는 조명의 영향을 줄이기 위한 영상 보정을 목적으로 다양한 명암도 보정 및 형상 보정 기법 등이 널리 사용되고 있다. 그러나 본 연구에서 개발하고자 하는 장치의 경우 실제로 피검사체인 정밀나사가 1 초에 12 개의 속도로 공급이 되며, 이를 감안하여 정밀 나사의 비

전 검사 영상촬영 및 처리 시간이 프레임별 수십 ms 로 제한된다. 따라서 본 연구에서는 많은 시간이 소요되는 저주파 및 고주파 등의 전통적인 필터는 이용할 수 없다. 따라서 영상보정시 픽셀 연산을 최소화하는 방안으로 처리 구간의 평균 밝기를 임계값으로 취하여 이진화를 수행하였다. 영상보정을 위해서는 측정 영상과 원본 영상과의 사상(Mapping) 연산을 통해 원점 및 방향을 보정하여 대상 픽셀을 직접 처리하는 방식으로 적용하였다.

치수 검사시 획득된 영상으로부터 측정 화소수를 실거리로 변환하는 과정으로 화소보정(Pixel calibration)을 수행한다. 화소보정의 방법에는 보정판(Calibration table)을 이용하는 방법, 샘플링을 통한 화소와 실거리에 대한 회귀분석을 이용하는 방법 등이 사용된다. 렌즈를 통해 획득된 영상은 수차로 인한 오목 왜곡(Pincushion distortion) 및 볼록 왜곡(Barrel distortion)을 포함한다. 이는 화면 중심으로부터의 거리의 증가에 대해 보정 상수의 지수적인 변화를 나타낸다. 이를 고려하여 본 연구에서는 시료의 검사부위별 실측정치수와 획득된 영상에서의 측정화소수를 비교하여 소프트웨어에 학습시키는 방법으로 화소보정을 처리하였다.

4.3 측부 관심영역 설정 및 검사과정

나사의 측부 검사과정에서는 나사산의 외경, 피치, 길이 등의 주요 치수(Table 1의 관리치수 중 3~6번)를 측정한다. 상기 치수 측정을 위해 획득된 영상에 대한 화소보정(pixel calibration) 과정을 통해 측정 화소수를 실거리로 표현하는 방법으로 검사가 수행된다. 이때 영상처리 과정에서의 연산 시간을 단축하기 위하여 관심영역은 필요한 최소한의 영역만을 고려해주어야 한다. 각 관심영역 내에서는 항목별 검사가 개별적으로 진행되며 이진화, 외곽선 검출(Edge detection), 라벨링 기법(Labeling method)을 주요 검사 방법으로 사용한다. 또한 화소보정 단계에서 측정오차를 감소시키기 위해 부화소 추정기법(Sub-pixel estimation)을 수행하여 영상의 분해능을 향상시킨다.

Fig. 10에 나사의 측부영상에 대한 각 검사별 관심영역 및 검사 결과 화면을 예시하였다. Fig. 10의 (a)와 (b)는 각각 나사길이 및 나사산외경 검사로 관심영역내 외곽선 검출을 통한 경계면의 좌표값 비교로 검사결과를 나타낸다. Fig. 10의 (c)는 중단 관심영역에서의 나사피치 검사 영상이며, 수개의 나사산 끝단만을 포함하는 관심영역이 선정되

고 영역내 나사산에 대한 블롭(Blob)화가 수행된다. 이후 블롭화된 나사산의 꼭지점을 화면에 나타내며 이격된 거리를 측정하여 피치를 검출한다. 마지막으로 Fig. 10의 (d)에 머리 종류와 두께검사 결과를 도시하였다. 나사 중심축을 대칭으로 하단 관심영역이 설정되어 나사머리와 바닥의 접촉점을 검출하여 두 접촉점 사이의 거리를 측정한다. 이 거리를 임계값과 비교하여 둥근머리/평머리 나사를 구분한다. 두께 검사는 접촉점과 길이검사에서 검출한 나사머리 끝단과의 거리를 측정하여 수행된다.

상기 측정결과를 종합하여 나사 측부의 주요 치수에 대한 허용오차와 비교함으로써 양불판정을 수행하고, 그 결과에 따른 분류작업을 진행하도록 제어 알고리즘을 구성하였다.

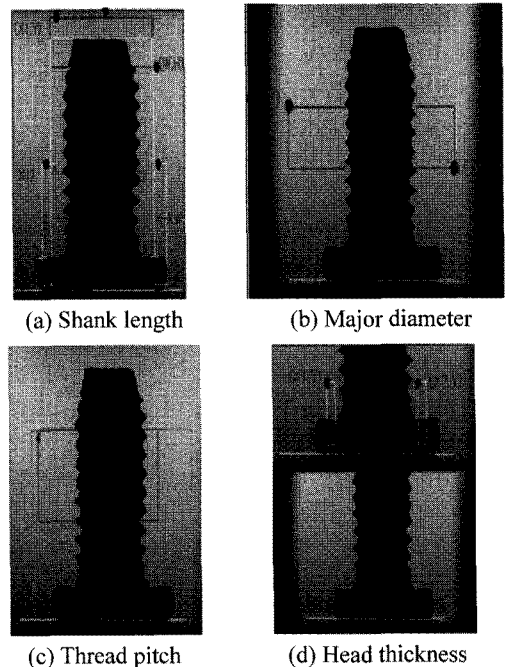


Fig. 10 Inspection images from the side views of a precision screw with different ROIs

4.4 상부 관심영역 설정 및 검사과정

나사의 상부 검사과정에서는 나사 머리의 직경 및 십자부(Bit)의 크기(Table 1의 관리치수 1, 2번)의 측정이 수행된다. 또한 나사 머리부의 십자부 주위에 주로 발생⁽⁸⁾하는 것으로 보고되고 있는 미세 균열(Micro crack)이나 접힘(Folding) 등의 표면 결함 발생 여부에 대한 검사과정도 병행된다.

십자부의 크기 측정 및 주변부 결함 검출을 위해 우선적으로 나사 머리의 회전 각도에 대한 정보가 필요하다. 이는 실제로 검사부에서의 나사의 위치는 작동거리(WD)에 맞는 특정 지점에 위치하도록 자동공급 장치를 거쳐 정렬이 수행되는 반면 나사머리 내 십자부의 회전 각도까지는 정렬이 어렵기 때문이다. 따라서 획득된 영상에 대한 소프트웨어적 연산과정을 통해 십자부의 회전각도를 계산하고, 이를 고려하여 좌표변환 연산에 의한 지수검사를 수행해주어야 한다.

Fig. 11 에 나사 머리부의 회전각도 자동추출 및 관심영역 설정 화면을 도시하였다. 회전 각도(θ) 계산과정을 살펴보면 우선 십자부와 주변부의 명암값 비교를 통해 십자부의 외측 프로파일을 추출한다. 이후 십자부의 서로 마주보는 2 개의 모서리부를 연결한 직선과 기존 좌표축과의 각도비교를 통해 회전 각도를 계산해준다.

나사 머리부 검사화면의 관심 영역은 크게 4 가지 영역으로 구성되어 있다(Fig. 11 참조). 1 번 영역은 나사 머리의 최외측부에 해당되며, 나사 머리부 단조성형시 발생하는 미세균열 검사가 실시된다. 2 번 영역에서는 전술한 과정에 기반하여 십자부의 크기 및 편심검사가 실시된다. 3 번 영역은 중심부에 해당하며, 나사 십자부 내부의 형상검사 및 이물질 혼입 여부를 판단한다. 4 번 영역은 십자부의 모서리 주변 영역으로 표면결함이 발생할 가능성이 높은 지역으로 전술한 회전각도 계산값을 참조하여 총 4 개의 영역을 대상으로 표면결함 여부를 집중적으로 검사하게 된다. 이때 검사와 모든 결함 및 이물질검사는 검사영역 내 평균 명암도와 임계값의 합을 양품 범위로 하여 이 범위를 미달하는 화소의 개수를 누적하여 화소누적수량의 임계값과 비교하는 방법으로 검사를 수행한다.

Fig. 12 에 상기 검사영역별 검사결과 화면을 예시하였다. Fig. 12 의 (a)는 십자부 외경 검사로 회전각 추출시 검출한 4 개 블록의 중심좌표로부터 45° 회전하여 외곽방향으로 명암값 비교를 실시한 후 각 십자부의 끝단을 검출하여 마주보는 2 개의 끝단을 직선으로 연결한다. 이 직선의 거리는 십자부 외경으로 검출되며 직선의 중심좌표가 십자부 중심으로 선정된다. Fig. 12 의 (b)는 십자부 외경 검사에서 선정한 십자부 중심과 초기에 선정한 머리둘레 중심과의 차이를 계산하여 편심을 검사한다. Fig. 12 의 (c), (d)는 나사머리 둘레 외부와 내부의 결함 검사로 각각의 관심영역 내부를 스캔하

여 평균 명암도와 임계값의 합에 미달하는 화소를 추출하고 라벨링 기법을 적용하여 화소 개수와 너비를 검출한다.

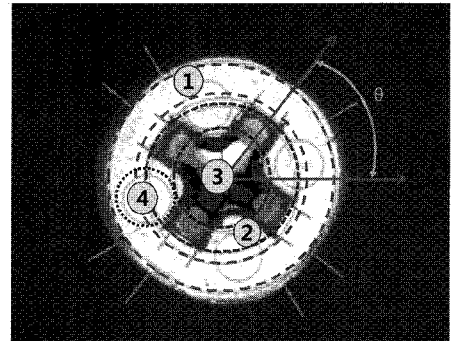


Fig. 11 An image for the top view of a precision screw with four ROIs

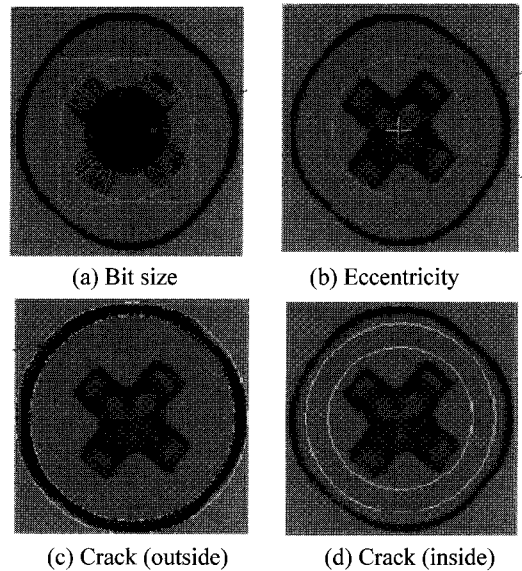


Fig. 12 Inspection images for the head part of a precision screw with different ROIs

4.5 비전검사 시스템의 성능 분석

개발된 비전검사 시스템은 초당 12 개의 검사 작업을 수행하도록 설계되었으며, 이를 위해 나사가 장착되어 이동하는 회전원판의 투입간격은 83 ms 이하로 유지되어야 한다. 여기에 신호처리시간(10 ms)과 영상취득 소요시간(10 ms)을 감안하면 비전검사에 대한 순수 처리시간은 63 ms 로 제한된다. 각 검사별 소요시간을 살펴보면 측부 검사과정의 경우 35 ms, 상부의 경우 50 ms 의 연산시간이

소요되어 2 가지 검사과정 모두 허용시간인 63 ms 내에 완료되어 고속검사가 가능한 것으로 확인되었다.

개발된 시스템을 실제 정밀나사 검사과정에 투입하여 성능을 분석하였다. 30 개의 정밀나사에 대한 검사를 수행하여 측정부위별 치수검사를 수행하고, 각 치부별로 평균과 표준편차를 계산하여 Table 2 에 요약하였다. 특히 개발된 비전검사 시스템의 신뢰수준을 정량적으로 확인하기 위해 각 검사의 편차에 대한 공정능력을 시그마 수준(Sigma level)으로 환산하여 비교하였다. 계산된 시그마 수준을 살펴보면 대부분의 치수검사가 3 σ 이상의 신뢰수준에 있는 것을 확인할 수 있다. 반면 상대적으로 치수정밀도가 높은 나사산 피치(500 \pm 10 μ m)의 경우 2 σ 의 신뢰수준을 보임을 알 수 있었으며, 해당 치수의 신뢰수준을 향상시키기 위해서는 향후 광학계의 배율 조절 등을 통해 해상도를 높여야 할 것으로 전망된다.

Table 2 Summary of the vision measurement results with the process capability (unit: mm)

No.	Description	Average	Std. Dev.	σ level
1	Head diameter	4.828	0.0632	3.45
2	Bit size	2.508	0.0295	4.55
3	Head thickness	0.910	0.0354	3.96
4	Shank length	5.789	0.0343	6.96
5	Thread pitch	0.505	0.0081	2.07
6	Major diameter	2.940	0.0151	5.19

5. 결론

본 연구에서는 소형 정밀나사의 자동검사용 비전검사 시스템 개발을 위해 광학계의 최적설계 및 영상처리 과정에 대한 제반 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 아래와 같다.

(1) 소형 정밀나사의 형상측정용 비전 시스템 광학계의 이론적인 분석을 통해 원하는 광학성능을 구현하기 위한 주요 설계사항을 결정하였고, 초기 작동거리를 104.35 mm 로 결정하였다.

(2) 결정된 초기설계안에 대해 광선추적 시뮬레이션을 수행한 결과 최소초점직경이 17.44 μ m 로 원하는 해상도를 만족시키지 못함을 확인하였다.

(3) 상기 문제점을 개선하기 위한 추가 해석을 통해 작동거리 102.8 mm 에서 최소초점직경이 2.75

μ m 로 감소하여 광학적 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

(4) 획득된 영상을 사용하여 전처리, 관심영역 설정, 주요치수 및 표면결합 검사에 의한 양불판정 과정을 고속(초당 12 개)으로 처리할 수 있는 일련의 알고리즘을 소프트웨어적으로 구현하였다.

상기 연구결과를 기반으로 소형 정밀나사의 형상을 고해상도 영상으로 획득하여 치수검사를 수행할 수 있는 광학계 설계기술을 확립할 수 있었고, 이를 토대로 고속으로 자동검사를 수행할 수 있는 비전검사 시스템을 개발할 수 있었다.

후기

본 연구는 교육과학기술부의 핵심애로기술개발사업 및 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업의 지원으로 수행된 결과임.

참고문헌

1. Malamas, E. N., Petakis, E. G. M., Zervakis, M., Petit, L. and Legat, J.-D., "A survey on industrial vision systems, applications, and tools," Image and Vision Computing, Vol. 21, No. 2, pp. 171-188, 2003.
2. Hunsicker, R. J., Patten, J., Ledford, A., Ferman, C., Allen, M. and Ellis, C., "Automatic vision inspection and measurement system for external screw threads," J. Manuf. Systems, Vol. 13, No. 5, pp. 370-384, 1994.
3. Park, Y. S. and Kim, J. S., "A study on the vision inspection system for the defects detection of micro-BGA device," J. Kor. Soc. Prec. Engng., Vol. 24, No. 4, pp. 44-56, 2007.
4. Moon, C. I., Choi, S. H., Joo, W. J., Kim, G. B. and Kim, C. H., "Development of a neural network classifier for the classification of surface defects of cold rolled strip," J. Kor. Soc. Prec. Engng., Vol. 24, No. 4, pp. 76-83, 2007.
5. Lee, W. S. and Han, S. H., "Development of non-contacting automatic inspection technology of precise parts," Trans. Kor. Soc. Mach. Tool Engrns., Vol. 16, No. 6, pp. 110-116, 2007.
6. Smith, W. J., "Modern Optical Engineering," McGraw-Hill, 1991.
7. Optical Research Associates, "CODE V[®] User's Guide," 2005.

8. Seo, W. S., Min, B. W., Park, K., Ra, S. W., Lee, S. H., Kim, J. H. and Kim, J. B., "Design of cold heading process of a screw for storage parts," *Trans. Mater. Process.*, Vol. 20, No. 1, pp. 48-53, 2011.
9. Park, J. S., Jeong, Y. M., Kim, H. S., Kim, Y. S. and Yang, S. Y., "Development of inspection system for screw/bolt shape using machine vision," *Proc. KSMTE Spring Conf.*, pp. 200-205, 2009.
10. Ra, S. W., "Precision screw's automatic inspection and sorting system using machine vision," *KR Patent*, No. 10-1011437-0000, 2011.