

비전 기반의 베어링 내·외륜 진원도 검사

The Roundness Inspection of Bearing Inner/Outer Race based on Machine Vision

*이성철¹, #윤주영², 양수진³, 최주한⁴, 박상원⁵

*Seong-Cheol Lee(meconlee@chonbuk.ac.kr)¹, #Ju-Young Yoon(maxfect@hanmail.net)²,

Su-Jin Yang³, Joo-Han Choi⁴, Sang-Won Park⁵

¹ 전북대학교 기계공학부(공업기술연구센터), ^{2,3}전북대학교 대학원 기계공학과, ^{4,5}전북대학교 기계공학전공

Key words : Machine vision, Morphology method, Edge detect, Roundness, Bearing race, Factory Automation

1. 서 론

오늘날 자동차를 비롯하여 구동하는 시스템에서 기구요소의 동작은 회전 운동을 포함하는 기계들이 대부분이다. 이러한 회전 운동 시스템의 구동축을 지지하는 역할을 담당하는 베어링은 기계요소 중에서 매우 중요한 부품이 되고 있다.

베어링이 상품화되기 까지는 기계가공과 열처리 공정 등을 거치게 되는데, 이 때 진원도로부터 이탈정도를 말하는 베어링 내·외륜의 진원도는 품질에 매우 큰 영향을 미치고 있다.

즉, 베어링 내·외륜은 기계적 가공과 열처리 공정을 거치면서 그 형태는 진원에서 벗어나 찌그러지거나 뒤틀리는 현상이 발생하게 된다. 신뢰할 수 없는 검사과정을 거친 불량 베어링이 현장의 기계요소로 사용된다면 구동시스템의 이상마모나 파손을 일으켜 대형사고로 이어질 수 있기에 열처리 공정 후 보다 정확하고 신뢰할 수 있는 검사과정이 필요하다.

현재, J사 생산업체에서 진행하고 있는 베어링 내·외륜 진원도 검사는 숙련된 작업자의 육안검사나 다이얼 게이지를 이용한 접촉식으로 수동 검사하고 있으며, 생산품의 전수 검사가 아닌 추출된 표본검사를 하고 있다. 이러한 방법은 생산품에 대한 질적 신뢰성이 떨어질 뿐 만 아니라 작업시간이 많이 요구된다. 따라서 진원도검사의 신뢰성, 경제성, 생산성을 향상시킬 수 있도록 검사방법의 개선이 필요하기에 머신 비전을 이용하여 비접촉 방법으로 베어링 내·외륜의 진원도 검사 방법을 연구하게 되었다.

본 연구는 PC운영의 IEEE-1394 디지털 CCD 카메라(Marin F-080B)와 배경 조명을 사용하여 베어링 내·외륜 영상을 획득하고, LabVIEW S/W 프로그램을 사용하여 진원도 검사 알고리즘을 적용함으로써 검사시간의 단축과 결과의 신뢰도를 향상시키고 검사공정의 자동화로 전량 검사를 가능하게 함으로써 생산성을 향상시키도록 시스템을 구성하였다.

2. 영상처리 알고리즘

획득한 영상에서 베어링의 내·외륜 진원도를 검사하기 위한 알고리즘을 적용하기 전에 검사 대상을 제외한 배경의 잡음들을 제거하기 위해 전처리 작업이 필요하다. 여기서 전처리 작업의 알고리즘은 모폴로지(morphology) 연산과 영상의 2진화를 적용하였다.

모폴로지 기법의 기본 아이디어는 미리 기하학적 형태를 알고 있는 대상 물체의 정보를 반영하여 영상 내에서 원하는 부분만을 추출하는 것이다. 모폴로지 기법의 기본적인 연산인 식(1)의 침식(erosion) 연산과 식(2)의 팽창(dilation) 연산을 순서대로 처리하는 영상에 대한 열림(opening) 연산을 하였다.

모폴로지 기법에서는 마스크 역할을 수행하는 구조요소(structuring element)를 사용하였으며, 구조요소의 형태를 미리 알고 있는 기하학적 형태로 구성하여 영상 처리하였다.

$$A \ominus B = \{ c | c = a - b \text{ for every } b \in B \} \quad (1)$$

$$A \oplus B = \{ c | c = a + b \text{ for some } a \in A \text{ and } b \in B \} \quad (2)$$

여기서, A는 원본 영상, B는 구조요소(mask)이며, 각각의 집합은 $a = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $b = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 이다. 그리고 연산기호 \oplus , \ominus 는 Minkowski 덧셈, 뺄셈이다.

모폴로지 기법을 적용하여 배경 잡음을 제거한 영상을 검사하기에 구별이 뚜렷한 영상으로 변환하기 위하여 식 (3)의 영상 2진화법을 사용하였다.

$$Output(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } Input(x,y) \geq T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서, T는 임계값(threshold)이며, 임계값을 기준으로 하여 영상을 0과 1의 명암값을 갖는 2진 영상으로 변환한다. 이러한 과정을 통하여 Fig.1과 같은 영상에서 원하는 영역 안의 edge를 검출한다.

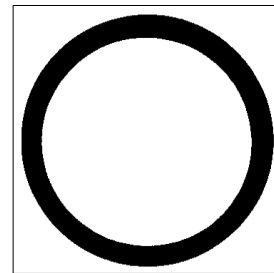


Fig.1 Image after processing

Edge 검출은 영상내의 명암값이 급격히 변하는 부분을 찾아내는 것으로서 2진화 영상의 경우 0에서 1로 변하는 위치를 찾아낸다. 이 방법으로 얻어진 영상의 위치 좌표를 연산하여 베어링 지름을 구하는 값으로 사용하였다.

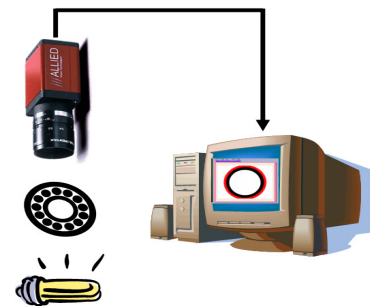


Fig. 2 Block diagram of inspection

3. 비전시스템 구성

실험을 위한 비전시스템은 Fig. 2와 같이 구성하였다. 디지털 CCD 카메라, 베어링 내·외륜, 조명장치 순으로 배열하여 외부 빛의 영향을 최소화하도록 하였고, 베어링 이외의 배경을 제거하기 편하도록 구성하였다.

사용한 카메라는 Allied Vision Technology 社의 1024×768의

해상도(80만 화소)와 초당 30프레임(30fps)의 속도를 갖는 IEEE-1394 전송방식의 디지털 CCD 카메라인 Marin F-080B를 사용하였다. 한편 영상처리 및 검사 프로그램은 National Instrument 社의 LabVIEW 8.2 와 NI Vision Development Module 8.2, 그리고 NI IMAQ IEEE-1394를 사용하였다.

4. 검사 프로그램 및 실험 결과

LabVIEW S/W를 사용하여 검사 프로그램과 영상처리 알고리즘을 적용하였으며 검사 방법은 Fig. 1과 같이 2진화 처리된 영상에서 Fig. 2와 같이 edge를 검출한다. 여기서 검출된 edge의 좌표값을 계산하여 베어링 지름을 획득하면 진원도를 판별할 수 있다.

판별 방법은 베어링을 화면의 중앙부에 위치한 베어링 영상에 Fig. 3의 ①과 같은 관심영역(ROI)을 설정하여 베어링의 edge를 검출하고 외각 끝단의 검출된 edge와 edge를 연결해 주어 길이를 측정하는 원리로 베어링 룰의 바깥지름을 구한다.

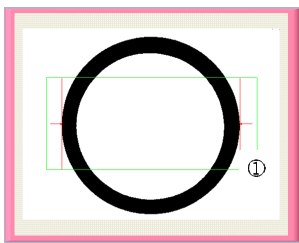


Fig. 3 Image of edge detect

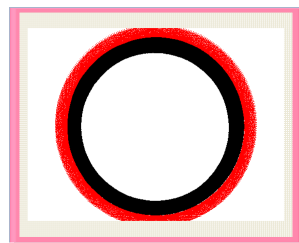


Fig. 4 Image of result

이와 같은 방법으로 관심영역을 1도씩 회전시켜 Fig. 4와 같이 총 180개의 지름을 구한 후 평균값을 내어 베어링의 평균 지름을 구하고, 최대값과 최소값을 각각 구한다.

열처리된 베어링 내외륜의 양품은 평균 지름, 최대값, 최소값의 차이가 0.3% 안의 범위에 있어야 하며 불량품, 즉 열처리 후 베어링 내외륜의 형상이 찌그러져 진원에서 벗어난 베어링의 경우는 그 차이가 0.3% 범위를 벗어나게 된다.

위의 측정범위는 수작업 검사를 시행할 경우와 동일하게 적용되는 범위로서 본 연구에서도 적용함으로써 양품과 불량품을 판정하도록 하였다.

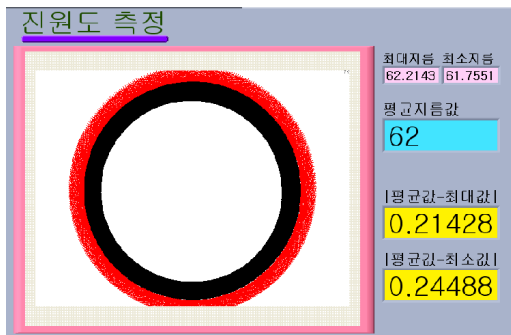


Fig. 5 Main menu and image display for inspection

Fig. 5는 전술한 과정을 통하여 캡처된 베어링 내외륜의 진원도 검사 프로그램의 화면과 메뉴로 양품, 불량품을 판별하도록 하였으며, Fig. 6은 본 연구를 위하여 설계되어 제작된 실제의 검사시스템에 대한 사진을 보여주고 있다.

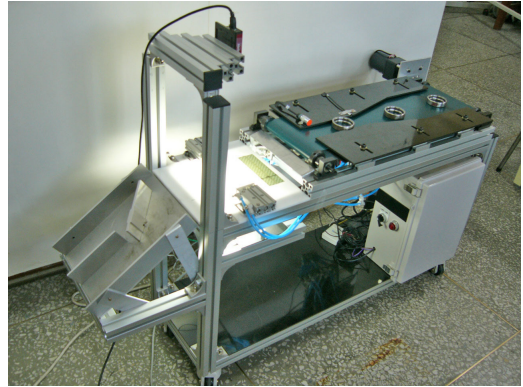


Fig. 6 A photo of actual system

5. 결 론

베어링 내외륜을 선삭 가공한 후 열처리 과정을 거치면서 여러 조건과 환경에 따라 발생하는 베어링 룰 지름의 변형으로 진원의 범위를 벗어난 제품을 검사하여 선별하는 과정이 요구되고 있는데, 현재 본 제품을 생산하는 J사에서의 베어링 내외륜의 진원도 검사는 숙련공의 눈에 의존하는 육안 판별법이나 다이얼 게이지를 이용한 진원도 측정과 같은 접촉식 측정법을 이용하고 있어 이에 검사방법의 개선이 요구되어 왔다.

이에 따라 보다 신속하고 정확한 검사 방법으로 IEEE-1394 디지털 CCD카메라와 NI-LabVIEW 프로그램을 이용한 비접촉식의 검사를 적용하여 베어링 내외륜 진원도를 검사하는 시스템을 개발함으로써 다음과 같은 기대 효과를 얻을 수 있었다.

- 1) 기존 방식보다 검사 결과의 높은 정확성
- 2) 객관적 방법을 통한 신뢰성 확보
- 3) 비접촉 방식으로 검사시간 단축
- 4) 검사 결과의 Data base를 이용한 통계적 생산 관리

참고문헌

1. Ju-Young Yoon, Young-Choon Lee, Du-Yeol Pang, and Seong-Cheol Lee, "Surface Inspection System of Bearing Inner/Outer Race using Machine Vision," Proceeding of KSPE 2006 Spring Conference, pp.297~298, June, 2006.
2. Young-Choon Lee and Seong-Cheol Lee, "Automatic Punching System for FPC using Machine Vision," J. of the KSPE, Vol.22, No.12, pp.77~86, Dec. 2005.
3. Seong-Min Kim, Young-Choon Lee, and Seong-Cheol Lee, "Vision based Automatic Inspection System for Nuts Welded on the Support Hinge," Proceeding of SICE-ICASE 2006 International Joint Conference, pp. 1508~1512, Oct. 2006.
4. R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing, 2nd/E," Prentice Hall, 2003.
5. Forsyth and Ponce, "Computer Vision, A modern approach," Prentice Hall, 2003.
6. 강동중, 하중은, "Visual C++을 이용한 디지털 영상처리," 사이텍미디어, 2003.