

비전을 이용한 기어 형상 측정 시스템 개발 Gear Inspection System using Vision System

이일환* (서울대 대학원 기계설계학과), 박희재(서울대 기계설계학과)
I.H.Lee,H.J.Pahk(Dept. of Mechanical Design and Production Eng, Seoul National University)

Abstract : In this paper, an automatic gear inspection system has been developed using the computer aided vision system. Image processing and data analysis algorithms for gear inspection have been investigated and shown to perform quickly with high accuracy. As a result, dimensions of a gear can be measured upto few micrometer size in real time. In addition, the system can be applied to a practical manufacturing process even under noisy conditions.

Key Word : edge detection(경계추출), morphological operator, Least Square Method

1. 서론

생산 조립 라인에서의 부품 검사는 그 필요성에도 불구하고 시간적, 경제적 부담으로 인해 검사가 용의하게 이루어지지 않고 있으며, 단지 불량이 발견 됐을시 샘플링 검사를 하는데 만족하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 기존 카메라에 다수 들어가는 플라스틱 2단기어의 전수검사를 전제로 한 자동검사시스템 개발에 그 목적을 두었다. 시스템은 CCD카메라와 이로 부터 얻은 기어의 화상을 저장하고 이를 처리할 수 있는 비전보드, 조명장치로 구성된 비전부, 기어의 이송 및 추출을 담당하는 기구부, 이를 통합, 제어하는 PC로 이루어져 있다. 시스템에서 검사하는 항목은 기어의 편심, 이끝원지름, 치형불량등 3가지이다. 즉 측정기어와 표준기어 치형의 지름과의 크기 차이, 찍힘, 미성형, Burr의 크기를 검사한다. 이때 불량기준은 $30\ \mu\text{m}$ 으로 이는 50배 확대화상을 기준으로 픽셀 하나의 치수가 $8.33\ \mu\text{m}$ 이므로 픽셀 3~4개에 해당된다.

2. 기어 검사 시스템

2.1 시스템 구성도

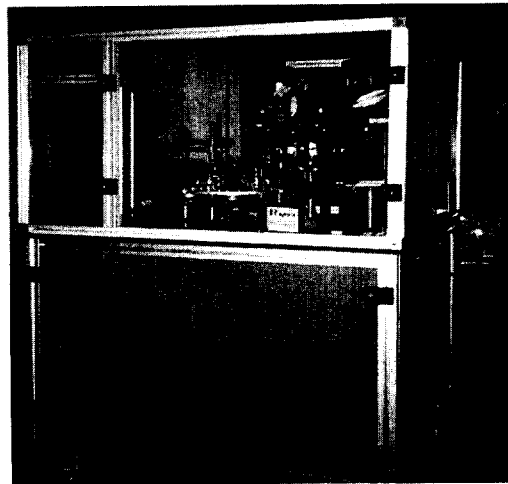
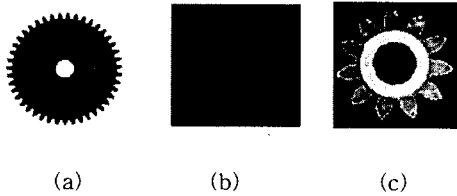


Fig.1 시스템 구성도.

2.2 광학계 및 비전시스템

광학계 및 비전 시스템은 CCD카메라, 조명장치, 모니터, 비전보드로 구성되어 있다. CCC카메라는 기어의 화상을 256grey level로 받아들이며 해상도는 640x480을 지원하고 있다. 이 카

메라에는 줌기능이 부착되어 있어 최대 200배 까지 확대가 가능하며, 실제 검사시에는 각 기어의 종류에 따라 이 배율을 조정하여 검사가 진행되도록 하였다. 조명장치의 광원은 LED를 썼으며, 여기서 나오는 빛을 광섬유를 통해 측정하고자 하는 기어를 비추게 하였다.



(a) (b) (c)
Fig.2 기어의 1단과 2단 화상.

Fig.2에서 (a)는 기어의 1단 부분을 검사하기 위해서 밑에서 조명을 비쳤을 때의 화상이며 이때 기어의 2단 부분은 가려져 보이지 않고 있다. (b)는 조명을 위에서 비쳤을 때 기어의 2단 부분의 화상이다. 2단 부분이 1단 부분에 가려 선명하게 구분이 되지 않고 있다는 것을 알 수 있다. (c)는 (b)의 문제점을 해결하기 위해 조명을 위에서 비추되 15~20도의 경사를 주어 빛이 바닥에 반사되어 나오면서 기어의 2단 부분을 비추게 한 결과 얻은 결과이다.

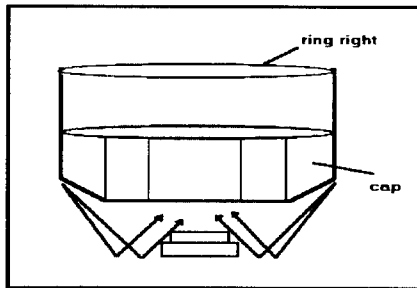


Fig.3 2단 기어를 위한 조명장치.

Fig.3은 기어의 2단 부분 화상을 선명하게 얻기 위해 제작한 조명장치이다. 그림에서처럼 light source로부터 광섬유를 통해 들어온 빛은 ring light방식으로 비추게 되며, 이 밑에 경사진 cap을 씌워 빛이 모든 방향에서 일정한 각도로 기울어져 들어오게 하였다. 그 결과 Fig.2의 (c)에

서 보듯이 기어의 2단부분 치형을 선명하게 볼 수 있었다.

2.3 기구부

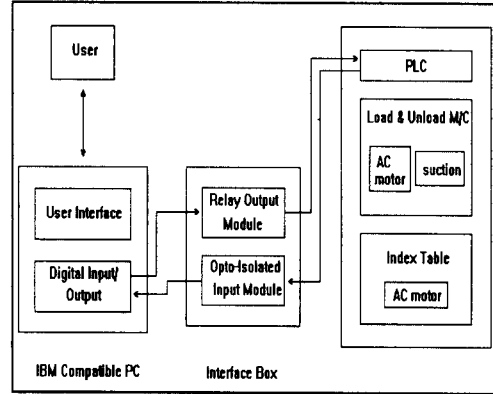


Fig.4 기구부의 Block Diagram.

Fig.4는 기구부와 사용자 인터페이스를 나타내고 있다. 사용자는 사용자 인터페이스를 통해 제어용 PC에 필요한 명령을 내리게 되고, PC는 그 명령을 받아들여 자체에서 이를 수행하거나 PLC를 통해 기구부를 움직여 수행하게 된다. loading & unloading machine은 기어를 index table에 올려놓거나, 검사 후 양불 판정이 내려진 기어를 추출하는 기능을 하며, AC motor와 suction으로 이루어져 있다. 또한 기어가 놓여지는 index table은 AC motor에 의해 구동되어 진다. loading machine에 의해 index table에 놓여진 기어는 CCD카메라 밑으로 이동되어 1단과 2단 검사를 순차적으로 하게 되며 검사결과는 다음 unloading machine에 전달되어 양품과 불량품을 따로 추출하게 된다.



Fig.5 시스템의 인덱스 테이블

Fig.5는 기어가 놓여지고 이동되어지는 Index Table의 사진이다.

3 기어 검사 알고리즘

기어 검사를 위한 이미지 처리 알고리즘은 low_pass spatial filter를 통한 noise제거, 경계 추출, morphological operator로 생성된 데이터를 샘플링하여 해석하게 된다. 그 과정을 Fig.6에 나타내었다.

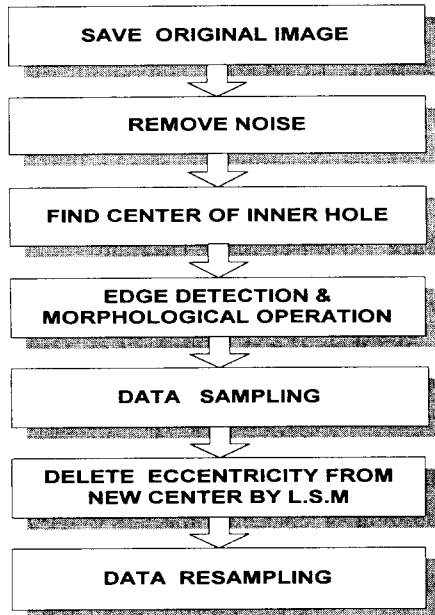


Fig.6 이미지 처리 Flow Diagram.

3.1 화상 처리 알고리즘

CCD카메라로 부터 얻은 원 화상은 noise의 영향을 받을 수 있으므로 먼저 noise를 제거하기 위한 저주파 공간 필터(low pass spatial filter)를 사용하였다. noise를 제거한 후 sobel operator를 써서 경계를 추출하였으며, morphological operation인 diagonal filling으로 기어의 외곽성분 추출을 위한 전처리를 수행하였다.

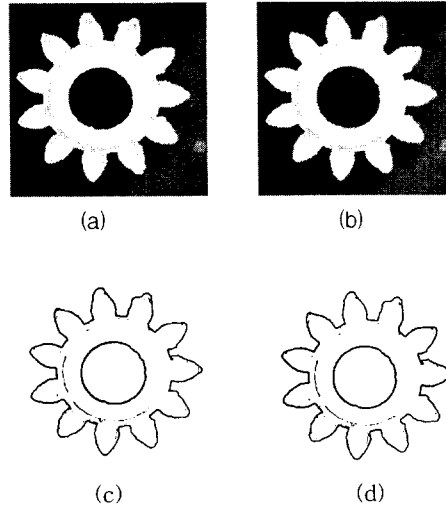


Fig.7 기어의 경계추출 과정.

Fig.7에서 그림(a)는 원화상이며, 그림(b)는 저주파 공간 필터를 사용한 후의 화상이다. 이때 사용한 convolution kernel은 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{10} & \frac{1}{10} & \frac{1}{10} \\ \frac{1}{10} & \frac{1}{5} & \frac{1}{10} \\ \frac{1}{10} & \frac{1}{10} & \frac{1}{10} \end{bmatrix}$$

위의 과정으로 인해 화상이 약간 흐려지는 결과가 나타나지만 경계추출에는 별다른 영향없이 효과적으로 noise를 제거할 수 있었으며, 경계추출 후 Diagonal filling으로 경계상의 점들에 대한 연결성을 강화하였다. 그림(c)는 sobel operator를 수행하여 경계를 추출한 그림이다. 여기서 사용한 수평, 수직 방향 gradient mask는 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

그림(d)는 그림(c)로부터 주위 배경의 8-연결(eight connectivity)을 제거할 수 있는 픽셀을 채우는 diagonal filling을 수행한 결과이다. 즉, 2진화된 각 픽셀들로 부터 주위 8점을 뽑아 다음과 같은 계산을 수행한다.

$$G(j, k) = X \cup (P_1 \cup P_2 \cup P_3 \cup P_4) \quad (1)$$

여기서

$$\begin{aligned} P_1 &= \bar{X} \cap X_0 \cap \bar{X}_1 \cup X_2 \\ P_2 &= \bar{X} \cap X_2 \cap \bar{X}_3 \cap X_4 \\ P_3 &= \bar{X} \cap X_4 \cap \bar{X}_5 \cap X_6 \\ P_4 &= \bar{X} \cap X_6 \cap \bar{X}_7 \cap X_0 \end{aligned}$$

이고 주위 픽셀은

$$\begin{bmatrix} X_3 & X_2 & X_1 \\ X_4 & X & X_0 \\ X_5 & X_6 & X_7 \end{bmatrix} \text{이다.}$$

3.2 원 해석 알고리즘.

기어 형상을 판단하기 위해서는 경계추출된 화상으로부터 radius vector를 구해야한다. 이를 위해서는 먼저 기어의 중심을 구하는 과정이 필요한데, 우선 기어의 원화상으로부터 내부원 (Inner hole)의 중심과 반경을 Least square method를 이용하여 구한다.

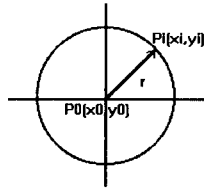


Fig.8 The geometry of a circle

Fig.8에서처럼, 원의 중심을 $P_0(x_0, y_0)$, 반경을 r , 경계상의 점을 $P_i(x_i, y_i)$ 로 놓으면 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = r^2 \quad (2)$$

or

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 - r^2 = 0 \quad (3)$$

여기서 error function을 다음과 같이 정의한다.

$$E = \sum_{i=1}^n [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 - r^2]^2 \quad (4)$$

여기서 으로 놓으면

$$z = x_0^2 + y_0^2 - r^2$$

$$E = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)^2 \quad (5)$$

위의 식을 최소화하는 x_0, y_0 를 구하기 위해서 편미분을 한다. 즉

$$\frac{\partial E}{\partial x_0} = 2 \sum (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)(-2x_i) = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial E}{\partial y_0} = 2 \sum (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z)(-2y_i) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial E}{\partial z} = 2 \sum (x_i^2 - 2x_i x_0 + y_i^2 - 2y_i y_0 + z) = 0 \quad (8)$$

위의 식을 풀면 x_0, y_0, z 를 구할 수 있다. 또한 반경 r 은 아래 식으로부터 구한다.

$$r = (x_0^2 + y_0^2 - z)^{1/2} \quad (9)$$

3.3 데이터 샘플링.

NO.	X Value	Y Value
1	313	174
2	384	241
3	371	286
4	323	311
5	269	295
6	245	245
7	264	194
8	282	181

표1. 내부원의 샘플링 데이터

표1은 내부원으로부터 샘플링한 데이터들이다. 이 데이터들로부터 중심과 반경을 구한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Center X : 315.316732

Center Y : 241.219575

Radius : 70.4729865

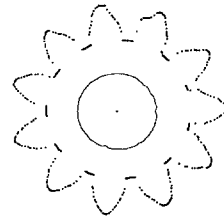


Fig.9 경계추출한 화상의 샘플링 결과 화상.

Fig.9는 L.S.M으로 부터 구한 내부 원의 중심을 기준으로 1도 단위로 기어의 외곽 성분을 샘플링한 결과화상이다. 이를 각도에 따라 반경

성분을 플롯팅한 결과는 아래 Fig.10과 같다.

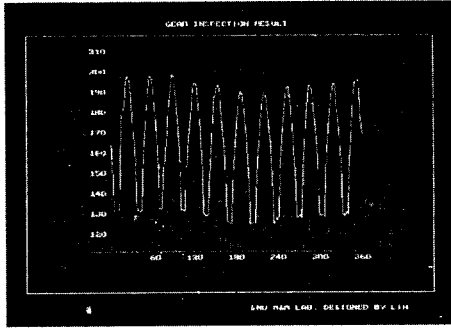


Fig.10 샘플링 데이터

Fig.10에 나타난 데이터에는 기어의 편심, 치형 불량, Inner hole의 불량으로 인한 error가 모두 포함되어 있다. Inner hole의 불량 유무는 원 해석을 통해 구해진 반경으로부터 판단 할 수 있다. 또한 기어의 편심을 구하기 위해서는 Inner hole의 중심과 피치원 중심사이의 편심을 구해야 하는데 실제 피치원의 중심을 구하는 과정이 용이하지 않으므로 밀끝원의 중심을 구하여 Inner hole의 중심과의 편심을 구했다.

NO.	X Value	Y Value
1	404	334
2	440	279
3	442	209
4	406	147
5	339	117
6	273	122
7	216	163
8	188	238
9	212	313
10	257	352
11	340	367

표2. 밀끝원의 샘플링 데이터

표2는 밀끝원으로부터 샘플링한 데이터들이다. 이 데이터들로부터 중심과 반경을 구한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Center X : 317.428361

Center Y : 238.976813

Radius : 127.763293

위의 결과와 앞서 구한 내부 원의 중심으로부터 편심을 구할 수 있었다.

따라서 내부 원의 불량과 편심 불량을 구할 수

있었으며, 순수한 치형불량을 구하기 위하여 위에서 밀끝원 데이터로부터 구한 중심을 기준으로 데이터를 리샘플링하였다.

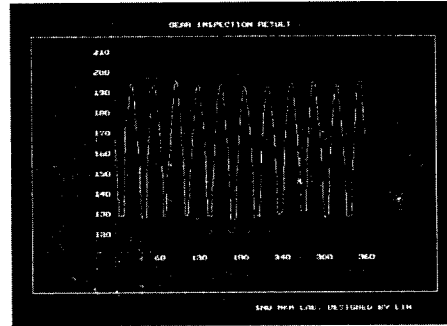


Fig. 11 리샘플링 데이터

Fig.11에서 보이는 데이터로부터 치형의 찍힘, 미성형, Burr를 계산하여 최종 기어의 양불 판정을 내리게 된다.

4. 결론.

이번 연구로 비전을 이용하여 빠른 시간에 기어의 형상을 검사할 수 있는 시스템을 구현할 수 있었다. 이로 인해 그동안 시간과 경비로 인해 샘플링 검사나 검사 자체가 어려웠던 과정을 전수검사 할 수 있게 되었다는데 의미가 있다. 정확도에 있어서도 10 μ m이내의 정확성을 얻을 수 있었으며, 2단 기어를 검사함에 있어 큰 어려움으로 지적되어온 조명문제를 해결하여 검사를 가능하게 하였다. 이 시스템이 직접 산업 현장에서도 쉽게 쓰일 수 있도록 사용자 위주의 소프트웨어를 개발하는데 주력하였다. 또한 검사할 기어의 종류가 바뀌어도 작업자가 손쉽게 환경설정을 할 수 있도록 노력하였다.

참고 문헌

1. "Digital Image Processing Algorithm", Ioannis Pitas, Prentice Hall, 1993.
2. "Signal Processing Image Processing and Pattern Recognition", Stephen Banks, Prentice Holl, 1990.
3. "Computer Vision for Robotic Systems",

M.G.Fairhurst, Prentice Hall, 1988.

4. "Programs and Data Structures in C",
L.Ammeraal, Wiley, 1987.
5. "Practical Image Processing in C", Wiely,
1991.