

## 모터 샤프트 이중컷 불량 검사 알고리즘

황면중, 정성엽\*  
국립한국교통대학교 기계공학과

### Inspection Algorithm for Double-Cut Defect of Motor Shaft

Myun Joong Hwang, Seong Youb Chung\*

Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation

**요약** 본 논문은 모터 샤프트 제조 공정에서 발생하는 이중컷 불량을 검사하기 위한 영상 처리 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘은 영상의 밝기를 이용하여 외곽선을 추출하는 단계와 추출된 외곽선을 이용하여 이진화된 경계선 그래프를 구하는 단계, 최종적으로 이진화된 경계선 그래프를 이용하여 불량품을 판정하는 단계로 구성된다. 본 논문에서는 두 절단면이 분리되어 있는 결함과 두 절단면이 연결되어 있는 결함을 각각 type 1 결함과 type 2 결함이라고 정의하였다. 실제 제조 과정에서 112개의 양품과 44개의 불량품 (type 1 불량 34개 및 type 2 불량 10개) 샘플을 수집하였으며, 수집한 샘플을 이용하여 제안된 알고리즘을 검증하였다. 알고리즘 시험 결과 100% 정확도로 양품과 불량품을 판정하였으며, 불량품의 경우도 type 1 불량과 type 2 불량을 정확히 구분하는 것으로 확인되었다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 추가적으로 다양한 샘플에 대해 신뢰성을 확보한 후 실제 현장에 사용할 계획이다.

**Abstract** This paper proposes an image-processing algorithm for inspecting double-cut defects in the motor shaft manufacturing process. The algorithm consists of extracting the outline using the brightness of the image, obtaining a binarized boundary graph using the extracted outline, and determining the defects from the graph. Defects in which two cut surfaces are separated are considered type 1 defects, and those in which two cut surfaces are connected are defined as type 2 defects. In an actual manufacturing process, 112 good samples and 44 defective samples (34 type 1 defects and 10 type 2 defects) were collected and used to verify the algorithm. The samples were judged with 100% accuracy for both type 1 and type 2 defects. The algorithm will be used in the field after securing reliability for various samples.

**Keywords** : Double-Cut Defect, Inspection Automation, Image Processing, Machine Vision, Motor Shaft Inspection

### 1. 서론

모터 샤프트와 같이 일일 생산량이 수십만개에 달하는 부품의 경우에는 모든 부품의 결함을 육안으로 검사하기가 불가능하여, 샘플링 검사에 의존하는 경우가 많다. 그러나 최종 제품의 요소로 사용된 불량품은 완성품의 품질 및 이미지에 나쁜 영향을 미치기 때문에, 최근에는 샘플 검사가 아닌 전수 검사를 실시하려고 하는 요구

가 많다. 머신 비전 기술은 카메라를 이용하여 대상을 측정 후 영상을 컴퓨터 프로그램을 이용하여 분석하고 불량 유무를 판단할 수 있는 기술로 컴퓨팅 파워가 발전함에 따라 최근 기계 요소 부품의 전량 검사 기술로 자주 활용되고 있다[1-5]. 본 논문에서 대상으로 하는 모터 샤프트는 Fig. 1과 같이 정상적인 경우라면 절단면을 하나만 가지고 있어야 한다[6]. 그러나 제조 과정 중에 절단면이 두 개가 발생하는 문제가 있으며, 현재는 검사원

본 논문은 2016년도 산업통상자원부 연구비 지원에 의한 것임 (과제번호 G12RDNWCC15014)

\*Corresponding Author : Seong Youb Chung(Korea National University of Transportation)

Tel: +82-43-841-5124 email: sychung@ut.ac.kr

Received October 17, 2016

Revised November 29, 2016

Accepted February 3, 2017

Published February 28, 2017

에 의한 샘플 검사에 의존하여 불량률을 검사하고 있다. 하루에 수십만개 이상의 제품을 생산하는 상황에서 불량 유출은 항상 문제가 되고 있다.



Fig. 1. Motor shaft

모터 샤프트의 비전 검사와 관련된 연구는 다음과 같다. Jiang 외는 라인스캔 카메라를 이용하여 모터 샤프트 표면의 불량률 95%의 정확도로 검출하는 알고리즘을 제안하였다[7]. Hwang와 Chung은 라인스캔 카메라를 이용하여 모터 샤프트 외관의 영상을 얻고, 회전 윤곽 상자를 이용하여 찍힘 등의 표면 불량을 검사하는 알고리즘을 제안하였다[8]. Bae와 Kim은 자동차 파워 윈도우 모터 샤프트의 웜기어 치형을 자동으로 검사하는 장치를 개발하였다[9]. 기존 연구는 샘플에 대한 육안 검사를 대신 비전 기술을 이용하여 자동화된 전수 검사 방법을 제안하는 것으로 생각할 수 있다.

본 연구는 모터 샤프트에서 발생할 수 있는 이중 컷팅 불량률 대신 비전 기술을 통해 자동으로 검사할 수 있는 방법을 제안하고 실험을 통해 제안된 방법을 검증한다.

## 2. 이중컷 검사 알고리즘

### 2.1 영상 측정 시스템

모터 샤프트의 이중컷 검사 알고리즘 개발 및 검증을 위하여 Fig. 2과 같은 영상 측정 시스템을 제작하였다. 영상 측정 시스템은 CCD 카메라, 텔레센트릭렌즈, 동축 조명 및 후방조명과 모터 샤프트를 지지하기 위한 지그로 구성된다. 사용한 CCD 카메라는 JAI사의 BM-500GE 모델로 2456(수직) × 2058(수평) 화소를 가지는 흑백 카메라이다. 해당 카메라는 인터페이스 방식으로 기가이더넷을 사용하여 영상 수집을 위한 별도의 비전 보드가 필요하지 않은 장점이 있다[10]. 영상 처리를 위해 측정된 영상에서 검사 대상과 주변이 뚜렷하게 구분되어야 할 필요가 있다. 이를 위해 우선 Fig. 3(a)와 같이 동축조명을 사용하여 대상면의 영상을 수집하였다. Fig. 3(a)에서 지그가 동축 조명에 의해 반사면을 구성하여 측정 대

상의 아래부분은 구분이 잘되지만 윗 부분은 반사해주는 면이 없어 경계가 구분이 되지 않는다. 이를 해결하기 위해 Fig. 3(b)와 같이 후방 조명을 동시에 사용하였지만, 지그가 후방 조명을 방해하여 아래 부분의 일부분이 경계가 주변과 구분이 안되는 문제가 발생하였다. 따라서, 본 논문에서는 최종적으로 지그에 투명 아크릴을 이용하여 모터 샤프트와 지그 경계면을 분리하여 Fig. 3(c)와 같이 측정 대상이 주변과 명확하게 구분되는 영상을 얻을 수 있었다.

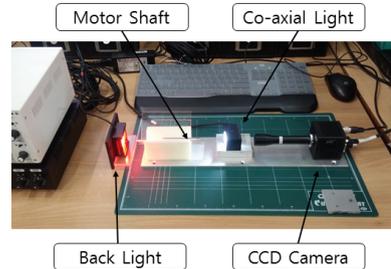
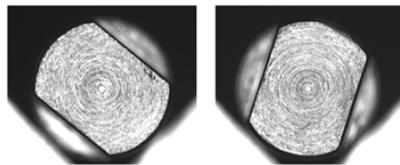
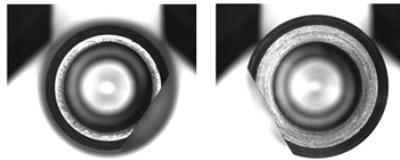


Fig. 2. Image acquisition system



(a) Images using coaxial light



(b) Images using coaxial and back lights



(c) Images using coaxial and back lights, and transparent jig

Fig. 3. Images according to illumination condition

### 2.2 영상 전처리

영상 측정 시스템에서 얻은 영상을 살펴보면 Fig. 4와

같이 컷팅면에 음영이 들어가 있는 것을 확인할 수 있다. 컷팅면의 경계를 찾아야하는 알고리즘을 위해서는 경계면의 구분이 필요하다. 이를 위해 밝은 부분은 더 밝게 어두운 부분은 더 어둡게 하는 영상 전처리를 수행하였다. 이를 위해 식 (1)과 같은 Sigmoid 함수를 이용하였다. 여기서  $y_c$ 는 밝기의 중심점으로 255/2값을 사용하였으며,  $y$ 와  $y_{new}$ 는 각각 원본 영상의 밝기와 수정된 새로운 밝기 값을 의미한다. 또한  $a$ 는 매개변수로 값이 커질수록 Sigmoid 함수는 계단에 가까워지며, 실험을 통해 0.25를 사용하였다. Fig. 5는 원본 영상과 수식 (1)을 통해 수정된 영상의 예를 나타낸다. 그림에서 보듯이 부정확한 경계선 부분이 확실해지는 것을 알 수 있다.

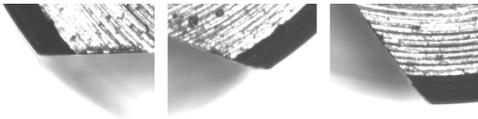


Fig. 4. Samples with ambiguous borders

$$y_{new} = 255 \frac{1}{1 + e^{-a(y_c - y)}} \quad (1)$$

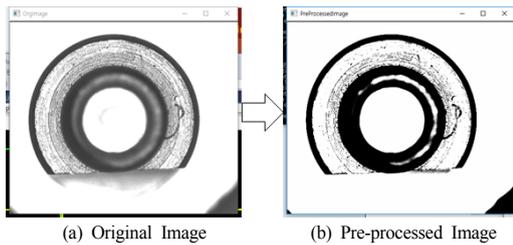


Fig. 5. Image pre-processing

### 2.3 검사 알고리즘

#### 2.3.1 외곽원 추출 알고리즘

이중컷 유무를 검사하기 위해서는 모터 샤프트의 외곽원을 정확히 찾아야한다. 이를 위해 우선 가상의 중심(Initial Center)에서 반경 방향으로 관심영역(ROI)를 설정한다. 우선 알고 있는 모터 샤프트의 직경을 이용하여 Fig. 6와 같이 내부원과 외부원의 범위(Initial Circular ROI)를 정한다. 이렇게 정한 범위에서 바깥에서 안쪽으로 탐색을 수행하여 밝기가 어둡게 변하는 경계점을  $\theta$ 가 0도에서 360도까지 찾는다. 이렇게 구한 경계점을 이

용하여 2차로 더 정확한 중심점(Fine Center)과 반경을 구한다. 중심점과 반경을 구하는 방법은 뉴턴-랩슨법을 이용하였다[11]. Fig. 6을 보면 경계점 중에는 실제 모터 샤프트의 외곽원이 아닌 점들이 존재한다. 이를 제거하기 위해 2차로 구한 반경을 이용하여 폭이 좁은 관심영역(Fine Circular ROI)을 설정하고 이 영역 내에 있는 경계점만을 이용하여 최종적으로 원의 중심점(Exact Center)과 반경을 구한다. Fig. 7은 이러한 방법으로 구한 최종원과 중심점을 나타낸다.

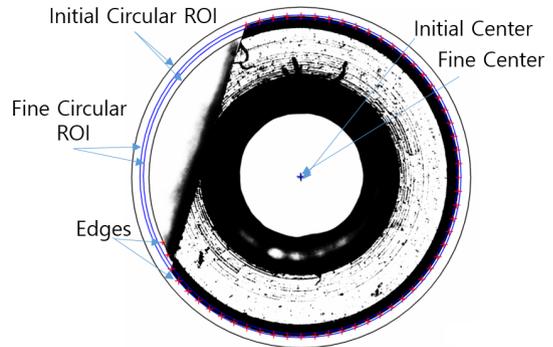


Fig. 6. Circular ROI to find a fine center

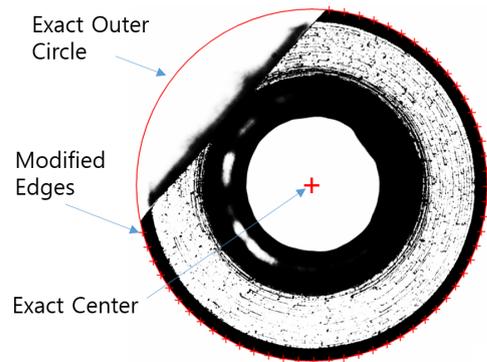


Fig. 7. Modified edges and exact center

#### 2.3.2 불량 검출 알고리즘

외곽원 추출 알고리즘을 거치면 Fig. 8과 같은 영상을 얻을 수 있다. Fig. 8에서 외곽원의 미소 영역(Arc Segment)의 평균 밝기를  $\theta$ 방향으로 구하면 절단면에서는 평균 밝기가 255에 가까우며 그렇지 않으면 0에 가까운 값을 가지게 될 것이다. 이러한 성질을 이용하여 외곽원의 경계 상태를 구할 수 있다. Fig. 9은 Fig. 8의 영상에서 외곽원의 미소 영역의 평균 밝기를  $\theta$ 방향으로 0.25도 간격으로 구한 그래프이다. 본 논문에서 이용한 미소

영역은  $dr$ 이 10픽셀이며  $d\theta$ 는 1도이다. 그래프를 보면 0도에서 10도까지는 밝기가 255에 가까운 값을 가지다가 0의 값으로 떨어지게 되는 데, 이 부분을 절단면의 경계선으로 유추할 수 있다. Fig. 8의 아래 부분을 보면, 절단면이 아닌 부분이 난반사로 인하여 밝은 부분이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이 부분은 Fig. 9의 그래프에서 70도에서 90도 부분에서 높은 값으로 나타나게 된다.

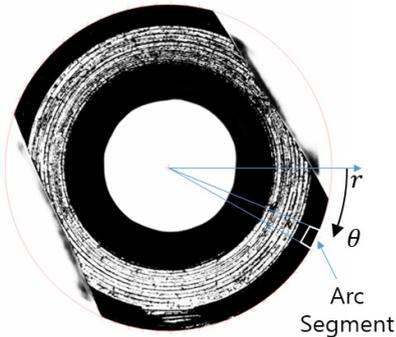


Fig. 8. Average brightness of the arc segment at  $\theta$

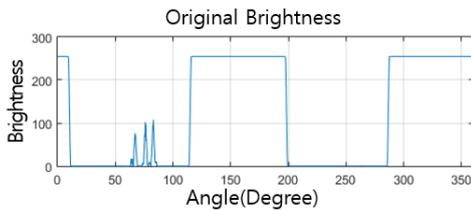


Fig. 9. Average brightness along the outer circle

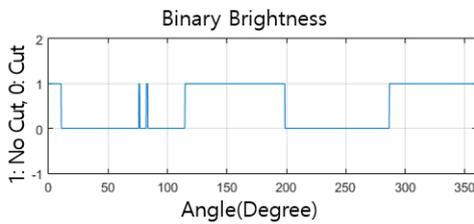


Fig. 10. Binary brightness along the outer circle

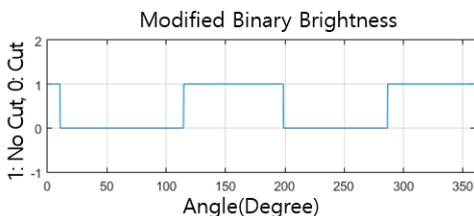
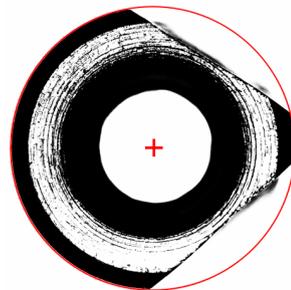


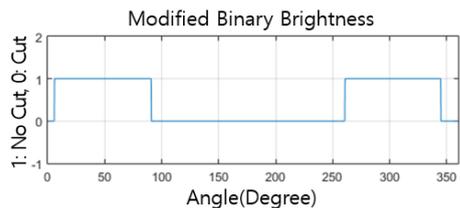
Fig. 11. Modified binary brightness along the outer circle

이 값이 경우에 따라서 200 이상의 높은 값을 가질 수 있어 경계면을 구하는 데 오류로 작용할 수 있다. 이것을 해결하기 위해 우선 Fig. 10과 같이 Fig. 9의 그래프를 경계값 ( $Th_{br} = 100$ )을 기준으로 0과 1로 바꾼다. 이렇게 하면 난반사 부분이 Fig. 10에서 1의 값을 가지는 짧은 사각형 모양으로 표시된다. 가공과정의 특성상 절단면은 일정 영역이상을 가져야 한다. 따라서 짧은 길이의 사각형은 절단면이 될 수 없다. 이러한 특징을 이용하여 외란을 제거하면 Fig. 11과 같은 그래프를 구할 수 있다. 본 논문에서는 이렇게 구해진 외곽원의 이진 밝기 그래프를 이용하여 이중컷 불량률 검사한다.

이중컷 불량률은 크게 두 가지 현상으로 나타난다. 첫 번째로 Fig. 12(a)와 같이 두 절단면이 서로 만나지 않는 경우와 Fig. 13(a)와 같이 두 절단면이 서로 만나는 경우이다. 본 논문에서는 첫 번째 경우를 type 1 불량이라고 정의하고 두 번째 경우를 type 2 불량이라고 정의한다. type 1 불량인 경우에 외곽원 이진 밝기 그래프는 Fig. 12(b)와 같이 두 개의 사각형을 가지게 된다. 반면에 type 2 불량인 경우에 Fig. 13(b)와 같이 사각형의 길이가 정상인 경우보다 길어지게 된다. 본 논문은 이러한 성질을 이용하여 이중컷 불량률 검출하는 알고리즘을 제안하였다.



(a) Defective product with double arcs



(b) Modified binary brightness (Double Squares)

Fig. 12. An example of type 1 defective product

외곽원 이진 밝기 그래프를 0도에서부터 탐색하여 상승하는 모서리의 개수를 구한다. 상승 모서리의 개수가 2개인 경우에는 type 1 불량으로 판정하며, 상승 모서리가 1개만 있는 경우에는 하강 모서리의 위치를 찾아 두 지점의 길이를 구하여 양품의 길이와 비교하여 큰 값을 가지면 type 2 불량으로 판정한다. Fig. 14는 이중컷 불량을 검사하는 과정을 순서도로 표현한 것으로 type 1 및 type 2 불량 검사를 통과한 부품은 양품으로 판정된다.

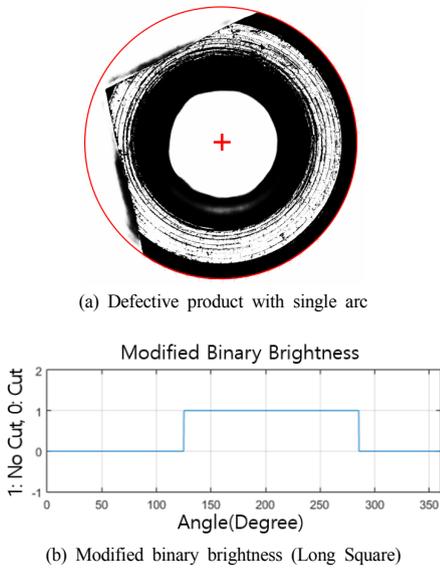


Fig. 13. An example of type 2 defective product

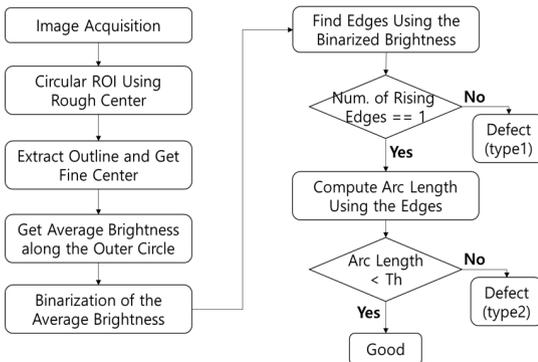


Fig. 14. Flowchart of the inspection algorithm

### 3. 알고리즘 검증

제안된 알고리즘을 검증하기 위해서 Visual C++

2013에서 OpenCV 3.0 라이브러리를 이용하여 검사 프로그램을 개발하였다. 프로그램은 Fig. 15와 같이 총 6개의 출력 창을 가지고 있다. Fig. 15에서 Result Window는 알고리즘을 적용하는 과정의 결과물들을 나타내는 것이며, Original Image와 Pre-processed Image는 원본 영상과 밝기를 변화시켜 알고리즘 적용을 용이하게 한 수정된 영상을 나타낸다. Zoom Window는 Result Window의 임의의 점을 클릭하면 확대된 영상을 보여주는 것으로 마우스 스크롤을 이용하여 Zoom의 크기를 변경할 수 있도록 하였다. Message Window는 알고리즘 적용 결과를 텍스트로 표시하기 위한 것으로 원의 중심점, 반경, 양품, 불량품인 경우에는 type 1인지 type 2인지 나타내도록 하였다. Outer Edge Status는 외곽원의 상태를 나타내는 것으로 각도에 따른 평균 밝기, 이진화 결과, 노이즈를 제거한 이진화 결과를 그래프로 출력한다.

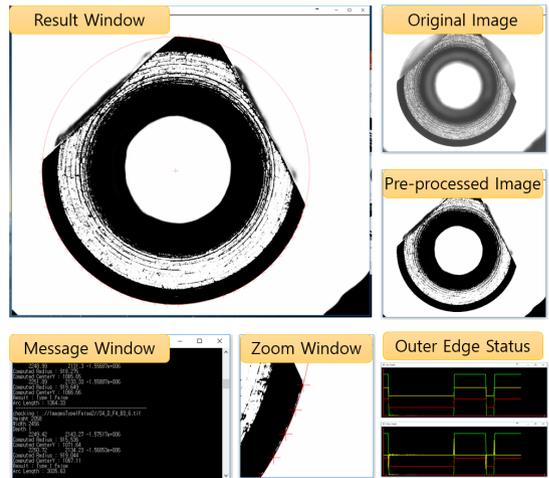


Fig. 15. Inspection program

Table 1. Experimental results

Result of Inspection		Defective		
		Good	type1	type2
Algorithm	Good	112	0	0
	Defective	34	0	10
All		156	44	10

알고리즘의 유효성을 검증하기 위하여 156개의 샘플을 이용하여 검사 결과를 조사하였다. Table 1은 검사 결과를 정리한 것이다. 총 156개의 샘플 중에 양품은

112개이며 불량품은 44개이다. 불량품은 type 1 불량 34개와 type 2 불량 10개로 구성되어 있다. Table 1의 3번째 열은 시험 샘플 중에 양품으로 판정한 결과로 불량품을 양품으로 판정한 결과는 없음을 확인할 수 있다. Table 1의 4번째 열과 5번째 열은 시험 샘플 중에 불량품으로 판정한 결과를 type 1 불량 판정과 type 2 불량 판정으로 각각 정리한 것이다. 불량 판정 결과 양품을 불량품으로 판정한 결과는 없었다. 또한 불량 판정 결과를 보면 type 1 불량 샘플은 type 1 불량으로 type 2 불량 샘플은 type 2 불량으로 각각 정확히 판정한 것을 알 수 있다. 각 샘플당 순수하게 검사알고리즘에 소요된 시간은 0.14 msec이다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 모터 샤프트의 가공 과정에서 발생하는 이중컷 불량을 검사하는 방법에 관한 것으로,

- 1) 영상처리 방법을 이용한 검사 알고리즘을 제안하였다.
- 2) 알고리즘을 적용하기 용이하도록 카메라의 조명 종류 및 조건을 실험을 통하여 조사하였으며, 알고리즘 시험 및 검증에 대해 영상 측정 시스템을 제작하였다.
- 3) 영상 처리 알고리즘은 크게 모터 샤프트의 측면 영상에서 외곽원을 추출하는 부분과 추출된 외곽선을 이용하여 절단면인지 아닌지를 나타낼 수 있는 외곽원 이진 밝기 그래프를 구하는 과정으로 나눌 수 있다. 영상처리 알고리즘은 외곽원 이진 밝기 그래프의 상승 모서리와 하강 모서리를 조사하여 양품과 불량을 판별할 수 있으며, 불량 종류 또한 규명할 수 있었다.
- 4) 본 논문에서 제안한 알고리즘의 검증에 156개의 실제 샘플을 이용하였으며, 시험 결과 알고리즘의 신뢰도는 100%인 것으로 확인되었다.
- 5) 현재 개발중인 검사 장비는 부품을 카메라의 위치로 이동한 후, 영상을 취득하여 검사를 수행한다. 검사 결과 불량이 발생하게 되면 영상을 시스템에 시간과 함께 저장하고, 부품을 배출할 때 불량품은 별도의 공간으로 배출한다. 일반적으로 검사시간의 대부분은 부품의 이송시간이 차지한다. 본 논문

에서 제안한 알고리즘의 소요 시간은 0.14msec로 전체 검사시간 중 검사 알고리즘이 차지하는 비중은 작을 것으로 예상된다.

- 6) 향후 다양한 샘플에 대해서 검증을 수행하여 알고리즘의 신뢰성을 확보한 후에 실제 현장에 적용할 계획이다.

#### References

- [1] J. J. Park, G. H. Kim, E. S. Lee, "A Study on the Elliptical Gear Inspection System Using Machine Vision", *Trans. of Korean Society of Mechanical Engineers, Part A*, vol. 38, no. 1, pp. 59-63, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2014.38.1.059>
- [2] H. L. Song, T. W. Hur, "Development of Auto Sorting System for T type Welding nut using A Vision Inspector", *Trans. of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 48, no. 1, March, pp. 16-24, 2011.
- [3] S. J. Kim, S. C. Lee, "Development of Inspection System for Surface of a Shock Absorber Rod using Machine vision", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 15, no. 6, pp. 3416-3422, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.6.3416>
- [4] C. H. Han, S. Lee, C. G. Park, J. Y. Lee, Y. K. Ryu, K. W. Ko, "2D/3D Visual Optical Inspection System for Quad Chip", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 17, no. 1, pp. 684-692, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.1.684>
- [5] Y. C. Kim, Y. M. Kim, S. G. Kim, H. B. Kim, M. T. Cho, "Development of the Mechanical System and Vision Algorithm for the External Appearance Test Using Vision Image Processing", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 17, no. 2, pp. 202-208, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.2.202>
- [6] S. Y. Chung, M. J. Hwang, H. S. Kim, "Analysis of Visual Inspection Applicability for a DC Motor Shaft", *The 11th Korea Robotics Society Annual Conference*, 2016.
- [7] L. Jiang, K. Sun, F. Zhao, X. Hao, "Automatic Detection System of Shaft Part Surface Defect Based on Machine Vision", *Proc. SPIE 9530, Automated Visual Inspection and Machine Vision*, vol. 9530, June 22, 2015.
- [8] M. J. Hwang, S. Y. Chung, "Surface Inspection Algorithm using Oriented Bounding Box", *Journal of Institute of Convergence Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 23-26 2016.
- [9] J. H. Bae, S. G. Kim, "Development of an Automatic Inspection System for PWM Shaft Using Machine Vision", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, vol. 22, no. 1, pp. 125-130, 2013. DOI: <https://doi.org/10.7735/ksmte.2013.22.1.125>
- [10] Specification of BM-500GE, Available From:

<http://www.jai.com/en/products/bm-500ge>. (accessed Oct, 12, 2016)

- [11] B. I. Adi, "A Newton-Raphson method for the solution of systems of equations", *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 15, no. 2, pp. 243-252, 1966.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-247X\(66\)90115-6](https://doi.org/10.1016/0022-247X(66)90115-6)

**황 면 중(Myun Joong Hwang)**

[정회원]



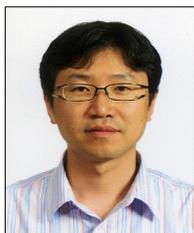
- 2001년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2008년 1월 ~ 2009년 12월 : Case Western Reserve Univ. Research Associate
- 2010년 2월 ~ 2013년 2월 : 삼성전자 생산기술연구소 책임연구원
- 2013년 3월 ~ 2015년 2월 : 한라대학교 기계자동차공학부 조교수
- 2015년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 기계공학과 조교수

<관심분야>

로봇 및 모션 제어, 양팔 로봇 시스템

**정 성 엽(Seong Youb Chung)**

[정회원]



- 1994년 2월 : 연세대학교 기계공학과 (공학학사)
- 1996년 2월 : KAIST 정밀공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2005년 4월 ~ 2007년 3월 : 삼성중공업 메카트로닉스센터 책임연구원
- 2007년 4월 ~ 현재 : 한국교통대학교 기계공학과 부교수

<관심분야>

양팔 로봇 시스템, 머신 비전, 지능로봇 소프트웨어