

경계 추출 및 처리를 통한 다이아몬드 휠 검사

Inspection of Diamond Wheel through Boundary Detection and Processing

하종은*
(Jong-Eun Ha^{1,*})

¹Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea

Abstract: In this paper, we present a method for the inspection of diamond wheels. In total, six items, including height, radius, and angle, need to be checked during the manufacturing of a diamond wheel. Automatic inspection through image processing is presented in this paper. First, a contour corresponding to the boundary of the diamond wheel is extracted from an image. Next, control points are selected by processing the contour. Seven control points are detected and used for the computation of the required item. Detailed procedures for the computation of the height, radius, and angle using control points are presented in this paper. Experimental results show the feasibility of the presented method.

Keywords: diamond wheel, machine vision, inspection

I. 서론

본 논문에서는 가공 공구로 널리 사용되는 다이아몬드 휠의 카메라를 이용한 검사에 대해 다루도록 한다. 작은 크기를 가지는 다이아몬드 휠의 수작업 검사의 경우 고배율 렌즈를 이용하여 확대 후 점검 항목들을 일일이 작업자가 수작업으로 진행해야 하는 번거로움이 따르게 된다. 이와 함께 사람이 검사를 수행하는 경우 동일한 입력에 대해 일정한 결과를 도출하는 것이 보장되기 어렵다. 이와 같은 이유로 인해 카메라를 이용한 자동 검사가 필요하게 된다.

다양한 산업 분야에서 카메라를 이용한 제품의 검사 및 계측이 이루어지고 있다. [1]에서는 스마트폰 곡면 강화유리에서의 불량 검사를 위해 카메라측의 동축 조명과 후면 조명 방식을 제시하였으며 카메라 보정을 통한 측정을 수행하고 있다. 컨베이어 벨트상에서 이송되고 있는 전기자동차 배터리 검사를 위해 4대의 고해상도 카메라와 스트로브 조명을 이용한 방법이 [2]에 제시되어 있다. 에지 처리를 이용하여 전기자동차 배터리 극판의 다양한 치수 항목을 측정하고 있다. [3]에서는 자동차 쉐루프 프레임에서 볼트, 너트의 유무를 검사를 위해 SVM (Support Vector Machine)에 기반한 방법을 제시하고 있다. [4]에서는 리모컨의 갈라 불량과 외관 불량을 검출하기 위한 방법이 제시되어 있다. [5]에서는 자동차용 오일 파이프와 브레이크 오일 파이프의 성형 후의 파이프의 양 끝단에서의 형상 불량을 검출하는 방법을 제시하고 있다.

그림 1은 본 논문에서 다루는 다이아몬드 휠 검사에서 점검하는 모든 항목들을 보여주고 있다. 필요한 측정 항목은 총 6가지이다. 각각 기준 위치로부터의 높이 두 개(h_1 , h_2), 기준선에 접하는 원의 반경 두 개(r_1 , r_2)와 각도 두 개 (θ_1 , θ_2)이다.

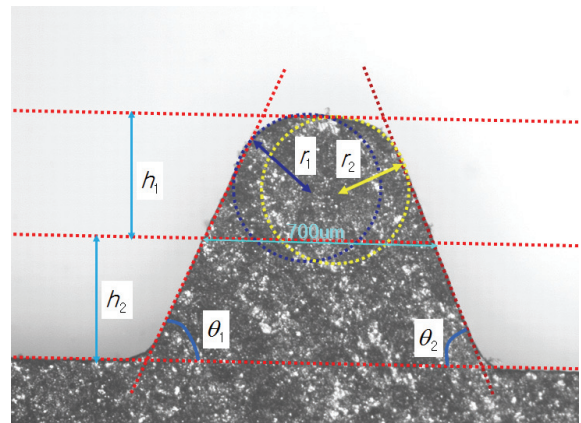


그림 1. 다이아몬드 휠 검사 항목들.

Fig. 1. Inspection items of diamond wheel.

II. 다이아몬드 휠 검사를 위한 제안 방법

검사 시스템의 구성은 그림 2와 같다. 카메라와 검사 대상을 최대한 평행하게 배치하여 사영 왜곡에 의한 영향을 최소화할 수 있도록 배치를 하였다. 제안 알고리즘의 전체 순서도는 그림 3과 같다. 노이즈 제거를 위해 3X3 크기의 마스크를 이용한 평활화를 수행한다. 그림 1에서 보이듯이 다이아몬드 휠 표면의 영상의 경우 재질의 반사 특성에 의해 중간중간 밝은 부분이 존재함을 알 수 있다. 제안 알고리즘은 주어진 측정 항목의 계측을 위해 다이아몬드 휠 영상에서 휠의 경계에 해당하는 곡선 부분을 추출하도록 한다. 곡선부의 추출을 위해 평활화 과정을 적용한 이미지에 대해 적응 이치화를 적용 후 Canny 에지 처리 [6]를 수행하도록 한다. 이후에 계산에 필요한 제어점들을 추출후 직선과 원 추정을 통해 측정 항목을 계산하도록 한다.

1. 경계 추출을 이용한 제어점 추출

다이아몬드 휠 영상으로부터 계산하여야 할 총 6개의 항목의 경우 모두 다이아몬드 휠의 외곽 형상과 연관되어 있다.

* Corresponding Author

Manuscript received July 27, 2016 / revised September 12, 2016 / accepted September 30, 2016

하종은: 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과
(jeha@seoultech.ac.kr)

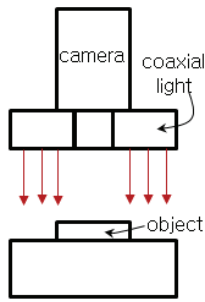


그림 2. 검사 시스템 구성.

Fig. 2. Configuration of inspection system.

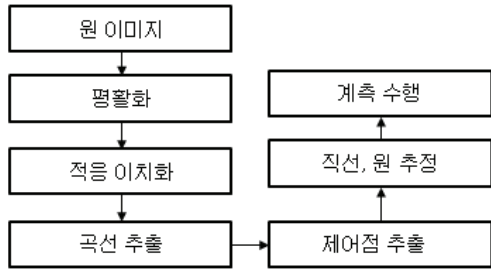


그림 3. 제안된 알고리즘 순서도.

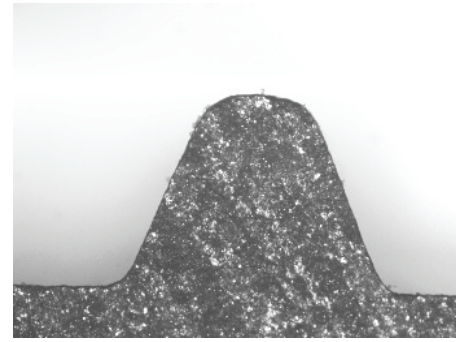
Fig. 3. The flow chart of proposed algorithm.

그러므로, 측정을 위해 다이아몬드 휠의 외곽 경계를 먼저 추출 후 이들 외곽 경계의 처리를 통해 계산에 필요한 제어 점들을 선정하여 해결하도록 한다.

제어점의 추출 과정은 다음과 같다. 그림 4(a)는 다이아몬드 휠의 원 이미지를 보여주고 있다. 고배율 렌즈를 이용하여 다이아몬드 휠 평면과 카메라 렌즈가 평행하도록 배치 후 측정을 수행하였다. 이와 같은 조건하에서는 카메라 렌즈에 의한 사영 왜곡(perspective distortion) 효과가 작다고 가정할 수 있게 된다. 그림 4(b)는 적응 이치화를 적용한 결과이다. 적응 이치화는 5X5 윈도우 크기를 가지며 윈도우의 평균값을 기준으로 이치화를 수행하게 된다. 적응 이치화 결과 다이아몬드 휠 부분의 경계 부분이 배경 부분과 잘 분리됨을 알 수 있다.

그림 4(c)는 그림 4(b) 이미지에 대해 Canny 에지 알고리즘 [6]을 적용한 결과이다. 그림 4(d)는 그림 4(c)의 결과에서 다이아몬드 휠의 경계 부분을 추출하여 해당 부분만 나타낸 결과이다. 이미지상에서 각각의 열에서 세로 방향으로 탐색을 통해 처음으로 만나는 곡선 부분을 다이아몬드 휠의 경계 지점으로 선정하였다. 선정된 측정 시스템의 경우 다이아몬드 휠을 제외한 배경부분에서 물체가 없으므로 제시된 방법을 이용하여 강인하게 다이아몬드 휠의 경계지점을 찾는 것이 가능하다.

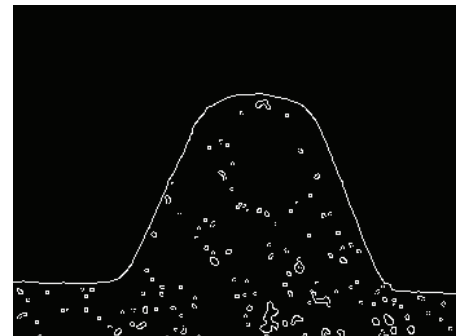
다이아몬드 휠의 외곽 경계에 해당하는 곡선을 추출 후 제어점들을 선정하도록 한다. 그림 5는 제어점 추출 관련 순서도를 보여주고 있다. 제안 방법의 경우 총 5개의 제어점 ($A_1 \sim A_5$)들을 추출한다. 그림 6은 이미지상에서의 각 제어점들의 위치와 추출 과정을 보여주고 있다. A_1 의 경우 추출된 외곽 경계 지점들 중에서 행의 값이 최소인 지점을 찾음으로써 쉽게 지정할 수 있게 된다.



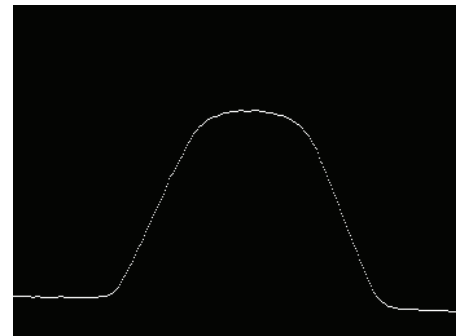
(a) Original image.



(b) Adaptive threshold.



(c) Contour extraction.



(d) Boundary extraction.

그림 4. 다이아몬드 휠 경계 곡선 추출 과정.

Fig. 4. The process of extracting the boundary of diamond wheel.

다이아몬드 휠의 나선형 형태의 시작점에 해당하는 제어점 A_2 와 A_3 는 다음과 같이 선정하도록 한다. B_1 과 B_2 는 추출된 다이아몬드 휠의 외곽 경계의 제일 왼쪽 지점과 오른쪽 지점을 나타낸다. 제어점 A_1 과 점 B_1 을 지나는 직선을 구한 후 두 지점 사이의 경계 지점들 중 직선과의 수직 거리가 최대인 지점을 제어점 A_2 로 선정한다. 제어점 A_3 는 제어점 A_1 과

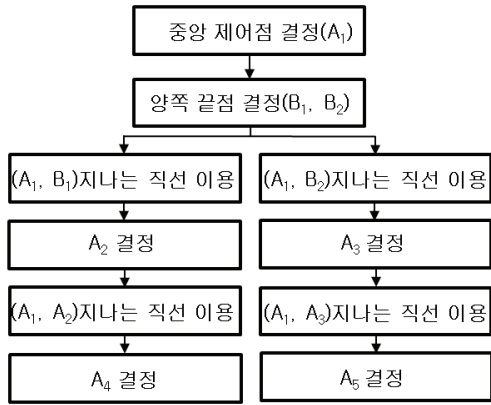


그림 5. 제어점 추출 관련 순서도.
Fig. 5. The flow chart for extracting control points.

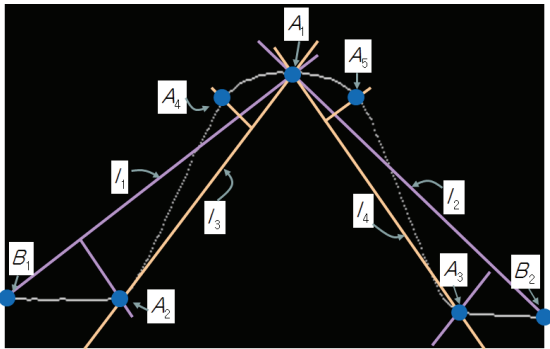


그림 6. 다이아몬드 휠 경계 곡선으로부터 제어점들의 추출.
Fig. 6. The extraction of control points from boundary contour of diamond wheel.

점 B_2 를 이용하여 동일한 과정을 적용하여 선정한다.

제어점 A_4 는 제어점 A_1 과 제어점 A_2 를 지나는 직선을 구한 후 두 지점 사이의 경계 지점들 중 직선과의 수직 거리가 최대인 지점으로 선정한다. 제어점 A_5 도 제어점 A_1 과 제어점 A_3 를 이용하여 동일한 과정을 적용하여 선정한다.

2. 제어점들을 이용한 측정

이전 절에서 다이아몬드 휠의 외곽 경계 지점들을 추출후 그림 1에서 요구되는 6개 측정 항목의 계산을 위한 제어점들을 추출하였다. 다음으로는 이들 제어점들을 이용한 각 항목들의 측정 방법에 대해 다루도록 한다.

먼저, 각도 θ_1 과 θ_2 를 구하기 위한 과정은 그림 7에 나타나 있다. 점 B_1 과 제어점 A_2 사이의 점들을 이용하여 직선 L_1 을 추정한다. 제어점 A_2 와 제어점 A_4 사이의 점들을 이용하여 직선 L_3 을 추정한다. 두 직선 L_1 과 L_3 사이의 각을 θ_1 으로 설정한다. 동일한 과정을 거쳐 θ_2 를 결정한다.

다음으로는 h_1 과 h_2 를 구하는 과정이다. 이는 그림 8에 나타나 있다. 먼저 그림 7에서 구한 직선 L_1 과 L_2 의 기울기의 평균값을 기울기로 가지는 직선 L_6 를 선정한다. 이 직선을 그림 8에서와 같이 수직 방향으로 이동하면서 직선과 만나는 다이아몬드 휠의 외곽 경계 두 지점을 찾은 후 이들 두 점 사이의 거리가 그림 1에서의 기준값과 가장 가까운 직선을 선택한다. 이를 통해 h_1 을 구할 수 있게 된다. h_2 는 구해진 직선과 제어점 A_1 을 지나고 직선 L_1 과 L_2 의 기울기의 평균값

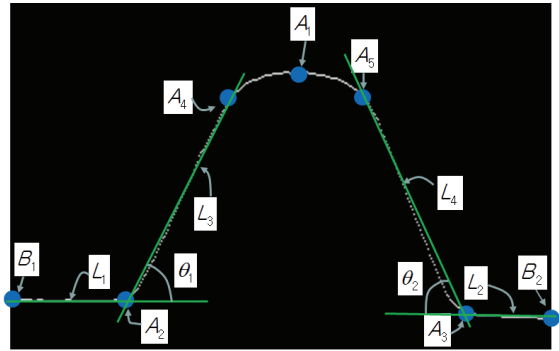


그림 7. 제어점들과 직선 추정을 통한 각도 계산.
Fig. 7. The computation of angle using control points and line fitting.

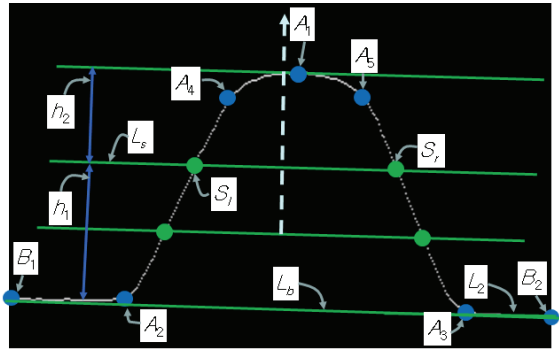


그림 8. 두 점 사이의 거리값을 이용한 높이 계산.
Fig. 8. The computation of height using distance between two points.

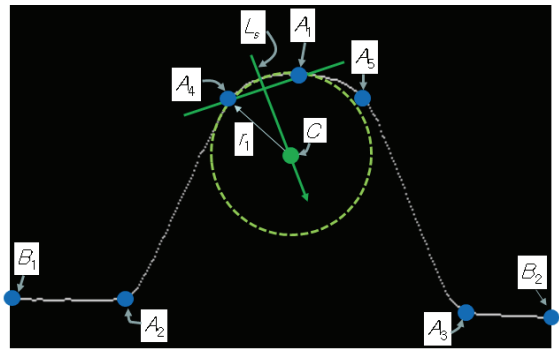


그림 9. 탐색을 통한 원의 반경 계산.
Fig. 9. The computation of radius of circle through search.

을 기울기로 가지는 직선을 구한 후 두 직선 사이의 거리값으로 설정한다.

다음으로는 r_1 과 r_2 를 구하는 과정이다. 이는 그림 9에 나타나 있다. 그림 9에서 제어점 A_1 과 A_4 사이의 외곽 경계점을 이용하여 원을 추정하는 방법도 생각해 볼 수 있다. 그러나, 원 추정을 위한 실제 데이터가 너무 원호상의 일부분에 존재하기 때문에 정확한 원의 추정이 어렵게 된다. 본 논문에서는 이러한 어려움 해결하기 위해 탐색에 기반한 방법을 제안하도록 한다. 제어점 A_1 과 A_4 을 지나는 직선과 수직이며 이들 두 제어점의 중심을 지나는 직선 L_6 상에 원의 중심이 존재하게 된다. 직선 L_6 상에서 제어점 A_1 과 A_4 사이에 있는

외곽 경계 지점들을 이용한 원의 추정시 가장 오차가 작은 지점을 원의 중심으로 선정한다. 이를 통해 반경 r_1 을 구할 수 있게 된다. 반경 r_2 는 제어점 A_1 과 A_5 사이에 있는 외곽 경계 지점들을 이용하여 동일한 과정을 통해 구하도록 한다.

III. 실험결과

실험에 사용한 영상은 5X 배율을 가지는 렌즈를 이용하였으며 1380X1080 픽셀의 화소수를 가지는 카메라를 사용하여 영상을 획득하였다. 카메라의 배치는 다이아몬드 휠 평면과

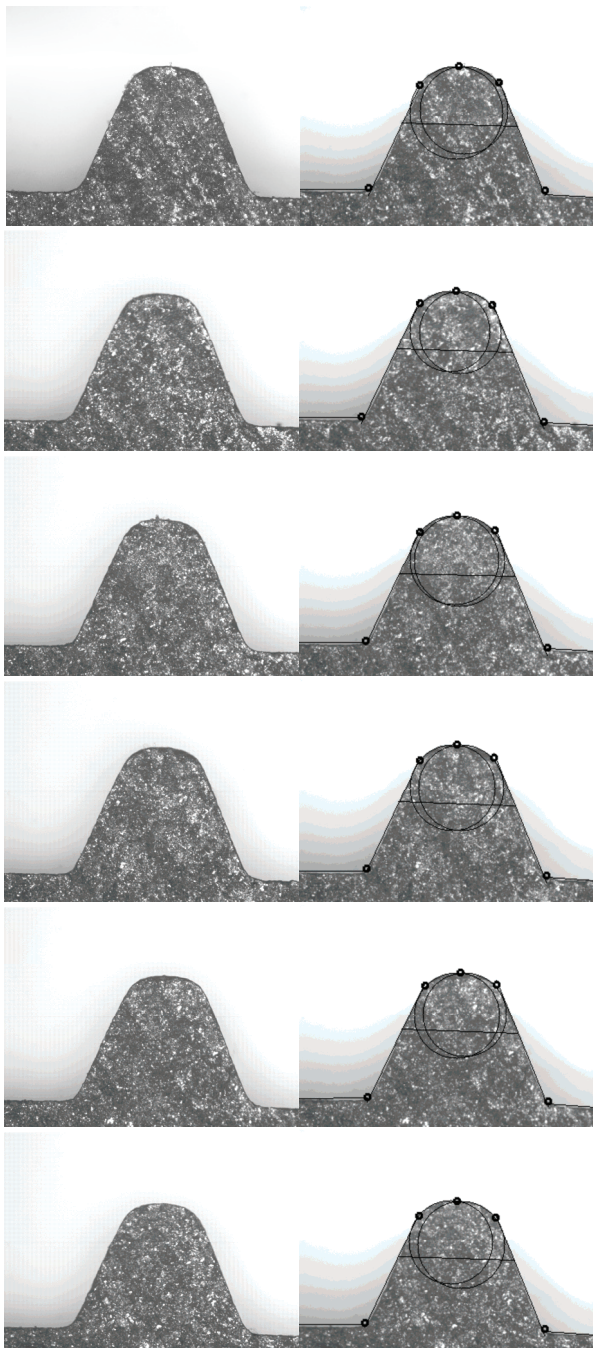


그림 10. 다이아몬드 휠 검사 결과 (왼쪽: 원 이미지 오른쪽: 처리 결과).

Fig. 10. The result of diamond wheel inspection (left: original image right: processing result).

카메라 센서 평면이 최대한 평행하도록 배치하였다. 이와 같은 경우에는 사영 왜곡(perspective distortion)에 의한 효과가 작으므로 이미지상에서 측정된 픽셀 좌표계하의 값을 실제 치수로 변환시 가로 세로 방향으로의 두 개의 변환 상수만 이용하여 변환을 수행하여도 정밀한 측정이 가능하게 된다. 카메라를 이용한 치수 측정시 사영 왜곡에 의한 효과가 큰 경우에는 일반적으로 카메라 보정 [7] 과정이 필요하게 된다.

그림 10은 제안된 알고리즘을 다양한 이미지에 대해 적용한 결과이다. 모든 경우에서 6가지 측정항목을 정확히 측정함을 알 수 있다. 그림 10의 이미지에서 한 픽셀은 $1.3\mu\text{m}$ 에 해당한다. 그림 10에서 계측을 위한 5개의 제어점들은 해당 지점위에 검은색 원으로 표시하였다. 이들의 위치는 정확히 추정됨을 그림을 통해 확인할 수 있다. 높이 h_1 과 h_2 를 구하기 위한 기준선은 이미지 상에서 검정색 직선으로 표시하였다. 반경 r_1 과 r_2 와 관련된 원은 검정색으로 이미지상에 표시하였다.

제시된 알고리즘의 정량적인 성능은 다음과 같이 평가하였다. 그림 10의 원 이미지들은 다이아몬드 휠의 표면과 최대한 평행하게 카메라 렌즈가 배치된 상태로 획득한 영상들이다. 그러므로, 이미지상에서 수직으로 계산한 각도와 실제 각도 사이에는 아주 작은 오차가 존재한다고 가정할 수 있다. 이러한 가정하에 이미지상에서 측정된 각도값을 참값으로 간주하고 알고리즘에 의해 계산된 각도값과의 오차를 구하였다. 그림 10의 총 6개의 이미지에 대해 총 12개의 각도값들에 의한 오차의 평균은 2.36도이며 표준 편차는 1.06도이다. 전체 실험 수행시 알고리즘의 각 단계마다 동일한 인자값을 사용하여 수행하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 다이아몬드 휠 검사를 위한 카메라 기반 처리 방법에 대해 다루었다. 다이아몬드 휠의 제조 공정에서 검사를 위해 요구되는 높이, 반경, 각도 등의 총 6가지 항목의 자동 측정 방법을 제시하였다. 제시된 방법은 다이아몬드 휠의 경계 부분을 추출 후 주어진 검사 항목의 측정과 관련된 제어점들을 경계에서 추출하여 이용하였다. 또한 이들 제어점들을 이용한 측정 항목의 추정 방법을 제시하였다. 실험을 통해 이들 제어점들이 안정적으로 추출될 수 있으며 측정 정확도가 요구 성능을 만족함을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] H. S. Kim, K. J. Lee, D. Y. Jung, Y. H. Lee, J. H. Park, and G. S. Kim, "Design for a defective product inspection device for the curved glass used in smart-phones," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 21, no. 8, pp. 794-800, 2015.
- [2] D. W. Shin, B. J. Jin, and J. K. Yoon, "Inspection system of electric vehicle battery plate using image processing," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 20, no. 6, pp. 718-723, 2014.
- [3] G. S. Kim, S. Lee, and J. S. Cho, "A learning-based visual inspection system for part verification in a panorama sunroof assembly line using the SVM algorithm," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 12, pp.

1099-1104, 2013.

- [4] K. M. Huh, S. M. Kang, and S. H. Park, "Automatic visual inspection system of remocon using camera," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 13, no. 11, pp. 1106-1111, 2007.
- [5] C. H. Park, B. R. Lee, S. Y. Yang, K. K. Ahn, and H. O. Oh, "Development of pipe fault inspection system using computer vision," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 9, no. 10, pp. 822-831, 2003.
- [6] J. Canny, "A Computational approach to edge detection," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 8, no. 6, pp. 679-798, 1986.
- [7] R. Y. Tsai, "A versatile camera calibration techniques for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, pp. 323-344, 1987.



하 종 은

1992년 서울대학교 기계공학과(공학사).
1994년 서울대학교 기계공학과(공학석사).
2000년 KAIST 기계공학과(공학박사).
2000년~2002년 삼성코닝 Advanced Engineering Group 선임 연구원.
2002년~2005년 동명대학교 멀티미디어공학과.

2005년~현재 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과 교수.
관심분야는 자율 주행, 지능형 자동차, 로봇 비전, 머신 비전.