

형상 매칭법을 이용한 비이클 실링 검사 시스템 개발

이정호*, 박찬희⁺, 서영수⁺⁺, 이형수⁺⁺, 김한주⁺⁺⁺

(Manuscript received: Nov, 5, 2012 / Revised: Dec, 10, 2012 / Accepted: Dec, 12, 2012)

Development of Vehicle Sealing Inspection System Using Geometry Matching Method

Jung-Ho Lee*, Chan-Hee Park⁺, Young-Soo Seo⁺⁺, Hyung-Soo Lee⁺⁺, Han-Joo Kim⁺⁺⁺

Abstract

This work present a new method of sealing inspection system for vehicle in which foam rubber materials are used for sealing the vehicle parts. This system is composed from a devices comprising non-contact and real-time scanning on visual inspection in machine parts. We have been investigated qualitative factors that influenced on sealing system of vehicle structure which flexibly attenuated vibration and plenty of foam rubber materials having elastic property. However, there are different factors which still depended on outdated technique (personnel subjective judgment) in the performance inspection of rubber parts, specially for cross section inspection. Through a newly developed inspection system which recently applied for the production line, we successfully achieved more effective results of matching rate by about 80 % in the sealing performance inspection with 0.7% to 1.4% in the repeated errors. These are resulted from non-contacted response by CCD camera and vision program using geometry matching method. We expect that this system may be widely applied in the strict inspection parts of more diverse cross-section in future.

Key Words : Vehicle sealing(비이클 실링), Section inspection(단면 검사), Machine vision inspection system(머신비전 검사 시스템), LabVIEW(랩뷰), Matching rate(매칭율)

1. 서론

과거 소비자들의 자동차 선택 기준에 있어서 중요한 항목이 가격이 저렴하면서 편의성과 정숙성을 모두 보유한 차량을 선호하였으나, 최근 자동차는 고유가에 따른 고연비 그리고 디자인을 중시하는 경향이 높아지고 있다. 그러나, 주행중 자동차

풍절 음이나, 타이어 마찰 소음이 차량 내부에 유입을 차단하는 정숙성이 여전히 소비자들의 주요 선택 기준이 되고 있다⁽¹⁾. 그리고 이와 같은 정숙성에 영향을 미치는 요인으로 많은 자동차 부품이 거론될 수 있으나, 본 연구에서 중점으로 다루게 될 비이클 실링 시스템(Vehicle sealing) 부품이 가장 중요한 요소 중 하나라고 말 할 수 있다. 비이클 실링 시스템은 물, 먼지,

* (사)전북대학교 자동차부품금형기술혁신센터

+ 교신저자, (사)전북대학교 자동차부품금형기술혁신센터 연구개발실
주소: 전북 전주시 덕진구 팔복동 2가 750-1

++ (사)전북대학교 자동차부품금형기술혁신센터 연구개발실

+++ 전북대학교 기계설계공학부

✉ Corresponding Author E-mail: chpark@camtic.or.kr

소음 및 진동이 차량 안으로 유입되는 것을 최소화 하여 운전자에게 최적의 승차감을 제공하는 것을 목적으로 하며, (구체적인 예로) Glass run channel, Secondary body seal, Primary door seal, Hood seal 등이 있다. 이러한 특성을 고려하여 비이클 실링 시스템의 재료로 발포 고무가 많이 사용되는데, 고무 재료는 우수한 탄성복원 특성과 진동 감쇄 특성으로 인하여 자동차의 여러 가지 시스템의 주요 부품으로 많이 사용되고 있다⁽²⁾. 이와 같은 고무 부품 성능을 검증하기 위해서는 고무 부품의 단면 검사가 매우 중요한데, 현재는 중요한 부품의 검사를 불량기준에 대한 작업자의 주관적 인지 및 판단에 근거하여 판별 하고 있다. 이는 단시간의 적은 양의 부품 검사에는 적합하나 장시간 많은 양의 다품종 검사에는 한계가 있다. 따라서 다품종의 다량 부품 검사에 적용할 수 있고, 다양한 비이클 실링 제품 형상의 검사 항목에 유연하게 대처할 수 있는 수단은 비 접촉식이며, 실시간 검사가 가능한 머신비전검사(Machine vision inspection) 시스템이 가장 효과적이다. 머신비전 검사 시스템은 1970년대 말 인간의 시각 기능에 대한 과학적 설명을 시도 하면서 시작되었고, 그 응용에 있어서도 다양한 공정에 적용되었다⁽³⁾. 예를 들면 이차원 영상으로부터 추출된 경계선과 꼭지점등의 영상 특징(Image feature)을 이용하여 제품의 양, 불량을 판정하거나 부품의 위치와 종류를 자동으로 인식하는 영상인식기술들이 개발되었다⁽⁴⁾. 실제 머신비전이 적용된 사례로는 J.D.Tucit 등이 머신비전을 이용한 카 시트 쿠션 프레임 검사 시스템을 개발 하였으며⁽⁵⁾, Jin-Young Kim 등은 원형 단면 부품 조립단계에서 비전 기반 부품 형상 및 상대 오차를 측정하였다⁽⁶⁾. 또한 Jin-seok Park 등은 스크류 볼트 형상 검사를 위한 머신 비전 시스템을 개발하였으며⁽⁷⁾, Young Jo Choi 등은 머신비전 시스템을 이용한 마이크로 드릴 마멸의 상태 감시 연구를 하였다⁽⁸⁾. 그러나 선행되었던 많은 연구가 대부분 금속 부품의 2차원 영상을 획득 한 뒤, Edge detection 후에 Edge 의 길이를 계산하는 내용이 대부분 이었으며, 비이클 실링과 같은 고무 제품의 단면을 검사 하는 연구는 없었다. 소수의 연구에서 Door seal에 의하여 차량 문에 걸리는 반력을 계산하기 위해 FEM 해석틀을 이용한 재료 모델 연구만이 수행되었다⁽²⁾. 따라서, 본 연구에서는 비이클 실링의 설계 도면과 실제 생산 되는 제품의 단면을 검사하기 위하여 형상 매칭법을 이용하여 자동으로 검사 가능한 시스템 개발과 이에 따른 성능 평가(시험)에 대하여 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 단면 머신 검사 시스템 구성

기준에 수동으로 작업하던 비이클 실링 검사는 작업자가 투영기에서 수작업으로 단면의 형상을 도면에 그려야 했으며, 위

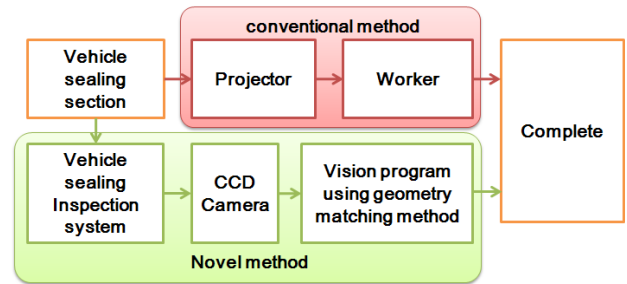


Fig. 1 Comparison of vehicle sealing inspection method

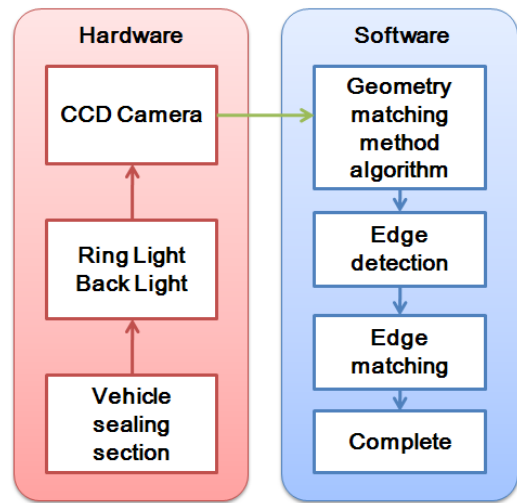


Fig. 2 Flow chart of vehicle sealing inspection

의 작업을 자동으로 진행하기 위해서는 Fig. 1과 같이 CCD 카메라와 조명, 작업테이블로 구성된 기구부가 필요하다. CCD 카메라를 이용하여 획득된 단면에 형상 매칭법을 적용하기 위한 PC와 프로그램으로 구성된다.

비이클 실링 검사 순서로는 Fig. 2와 같이 하드웨어 부분과 Software 부분으로 구분되며, 하드웨어에서는 CCD 카메라를 이용하여 영상을 획득하고 영상획득에 동일한 조명 조건을 주기 위하여 Ring Light, Back Light를 사용한다. Software에서는 CCD 카메라를 이용하여 획득된 이미지를 형상 매칭법 알고리즘을 이용하여 비이클 실링 단면의 Edge를 추출한다.

2.2 단면 머신 검사 시스템 기구 설계

비이클 실링 검사를 위한 기구 시스템은 CCD 카메라, Ring Light, Back Light를 이용했으며, Back Light 위에 비이클 실링 단면을 올리기 위한 Stage를 구성 하였다. CCD 카메라와 Ring Light는 Working Distance를 변경 가능하도록 설계하여 사용자의 설정에 맞게 FOV(Field of View) 조절이 가능하다.

영상처리에서 중요시 되는 부분은 이미지의 높은 품질을 요구하며, 진동에 의하여 이미지 품질에 대한 많은 영향을 미치기

때문에 Fig. 3와 같이 CCD 카메라와 Light를 하나의 기구물로 조립하여 진동을 최소화 하도록 설계하였다.

비이클 실링 검사 기구부에 사용된 카메라, Light의 사양은 Table 1과 같다. 영상 처리의 경우 카메라의 Resolution에 따라 품질 좋은 이미지가 획득되며 해당 시스템에서는 1024×768

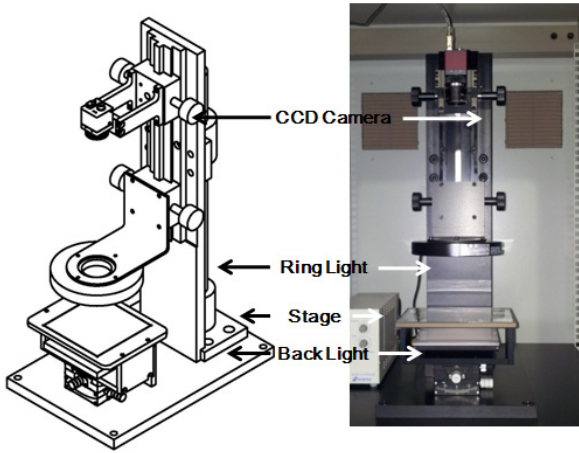


Fig. 3 Mechanism design and developed system for vehicle sealing inspection



Fig. 4 Developed vehicle sealing inspection system

Table 1 Hardware specification

Items	Specification	Maker
CCD Camera	Model : Guppy F-146 Resolution : 1024*768 Capture Speed : 30fps	ALLIED
Lens	Model : ML - 1614	MORITEX
Ring Light	Model : MSRL-CR44	MORITEX
Back Light	Model : MDBC-CR100	MORITEX
PC	CPU : Pentium Quad-core Memory : D-DRam 2GB	
Program	LabVIEW 2010	NI

Resolution을 사용 하였다.

그리고 Fig. 4과 같이 19인치 Double Rack에 PC와 검사 기구부를 모두 삽입시켜 단면 검사 장비를 개발하였고, 비이클 실링 검사시에 비이클에 고정에 필요한 Jig를 보관하기위한 보관함을 구성하였다.

2.3 단면 머신 검사 프로그램 개발

단면 머신 비전 검사 프로그램은 NI LabVIEW2010을 이용하여 개발하였고, NI Vision Development Module를 사용하여 영상처리를 진행 하였다.

비이클 실링 검사 프로그램은 Fig. 5 와 같이 UI가 구성되어 있으며, 비이클 실링의 단면을 CCD 카메라를 이용하여 이미지를 획득하고, 표준 Template 이미지에 형상 매칭법(Geometric matching method)을 적용하여 단면의 Edge를 검출하는 프로그램이다. 검사대상 비이클 실링 제품은 Glass Sealing과 Door Seal이 있으며 프로그램에서는 “검사 모드” 변경으로 Glass & Door Sealing 종류의 제품 검사 가능하다. 각각의 Glass Sealing과 Door Sealing은 자동차의 모델과 위치에 따라 형상이 다르며 다품종의 제품을 검사하기 위하여 표준 Template를 모델별로 관리하고 선택이 가능하도록 구성하였다.

2.3.1 단면 머신 검사 프로그램 전체 Flow Chart

검사 프로그램 알고리즘은 Fig. 6과 같다. CCD 카메라를 이용하여 획득된 이미지와 표준단면 이미지를 Geometry Matching을 이용하여 매칭 Point 및 매칭률을 계산한다. 계산된 Point는 CCD 카메라 이미지의 검출된 Edge를 표준단면 이미지의 검출된 Edge에 Move및 Rotation하여 사용자에게 매칭된 Edge 이미지를 제공하며, 사용자는 매칭률과 매칭된 Edge 이미지를 통하여 생산되는 비이클 실링 제품의 상태를 판단 할 수 있다.

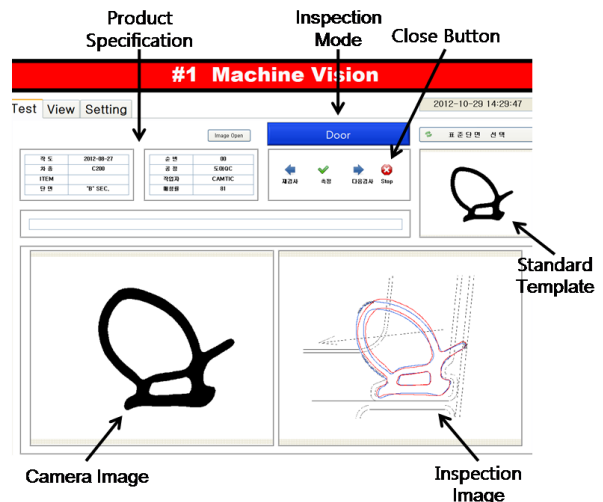


Fig. 5 Final developed inspection program

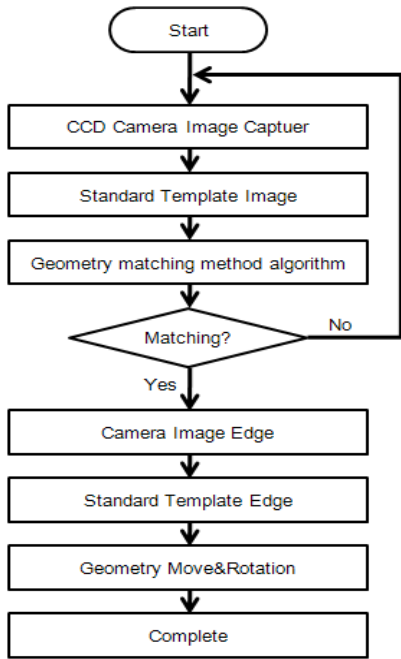


Fig. 6 Flow Chart of inspection program

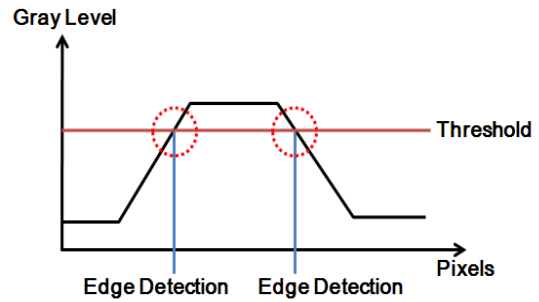


Fig. 8 Edge Detection

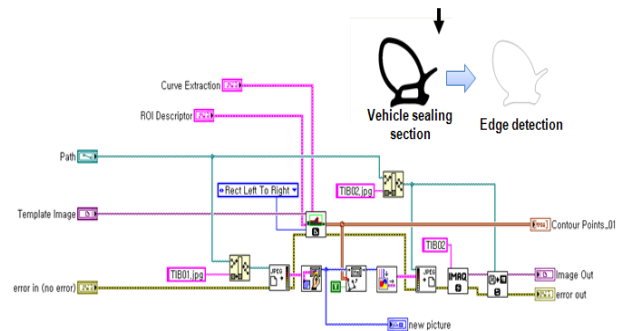


Fig. 9 Image Edge Detection LabVIEW block diagram

검출 알고리즘은 영상에 있는 영역의 경계를 나타내는 픽셀에서 밝기의 불연속 지점을 추출하는 것이다.

구체적으로 Fig. 8의 Edge 검출 알고리즘을 이용하여 Gray Level을 갖는 이미지의 Pixels 배열에서 임의의 임계값(Threshold) 기준으로 Gray Level의 변화가 있는 위치를 찾아내었다.

Fig. 9의 검정색 화살표가 가리키는 이미지가 제한된 Edge Detection 알고리즘을 이용하여 검출한 이미지이다.

한편, Edge 알고리즘 특성상 외부에 있는 Edge 검출은 가능하지만 내부의 Edge까지 한번에 검출하기는 어렵다. 해당 시스템에서는 이 문제를 해결하기 위해서 식 1과 같이 이미지의 픽셀 단위 빼기 연산을 사용하였다⁹⁾.

$$Image\ Output(x, y) = Image_1(x, y) - Image_2(x, y) \quad (1)$$

식 (1)을 비이클 실링 section에 적용하면, Fig. 10와 같이 내부 프로파일을 추출할 수 있다. 추출된 내부 프로파일에 Edge detection 알고리즘을 적용하면 내부 프로파일의 Edge 검출이 가능하다.

검출된 Edge들을 하나의 이미지로 합치기 위하여 식 (2)와 같이 이미지의 픽셀 단위 더하기 연산을 사용하였고⁹⁾, 결과는 Fig. 11과 같이 비이클 실링 edge를 추출 하였다.

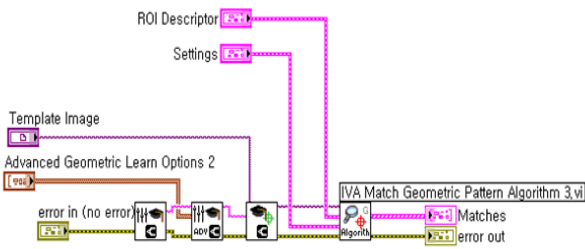


Fig. 7 Geometric Matching LabVIEW block diagram

2.3.2 Geometric Matching 검출 알고리즘

Geometric Matching은 매개변수를 곡선으로 설정하고 두 곡선이 교차하거나 거의 같은 위치에 있을 경우 이들을 동일한 곡선으로 간주하여 매칭하는 방법으로, 비이클 실링과 같이 일정하지 않은 프로파일을 갖는 형상에 대하여 매칭검사를 진행하기에 적합한 매칭 방법이다.

CCD 카메라 이미지와 표준Template 이미지의 Geometric Matching 알고리즘은 Fig. 7과 같으며, Geometric Matching을 통하여 두 이미지의 매칭 Point와 Rotation 값을 얻을 수 있다.

2.3.3 Edge 검출 알고리즘

Edge 검출 알고리즘은 비이클 실링 검사에서 CCD 카메라로 획득된 이미지(실제 생산된 제품의 단면)의 라인을 추출하여 작업자에게 제품의 형상을 제공하기 위한 알고리즘이다. Edge

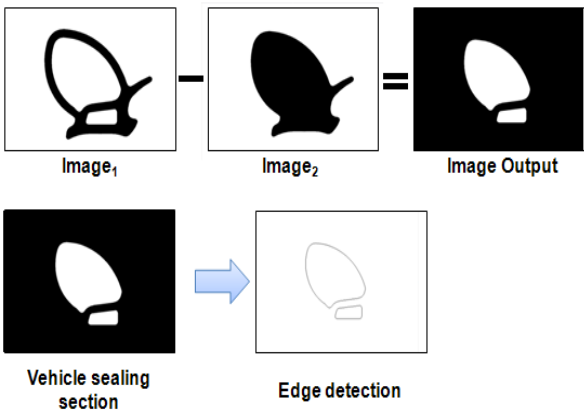


Fig. 10 The pixels of the image subtraction operation

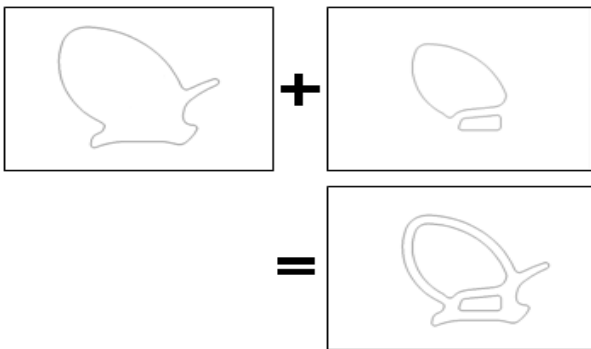


Fig. 11 The pixels of the image addition operation

$$Image\ Output(x, y) = Image_1(x, y) + Image_2(x, y) \quad (2)$$

3. 실험

본 연구에서 개발된 시스템의 성능을 평가하기 위한 실험은 5 종류의 비이클 실링 section을 같은 조건에서 5번 연속 형상 매칭법을 이용한 비이클 실링 검사를 진행하여 매칭율, 표준단면과 생산단면의 Edge를 비교 분석 하고 검사의 신뢰성을 비교 분석 하였다.

형상 매칭법을 이용한 비이클 실링 검사 결과 매칭된 Point 기준으로 검출된 Edge를 Move 및 Rotation하여 형상 매칭 결과를 Table 3와 같이 사용자에게 제공한다. 표준이 되는 Standard section에 CCD 카메라로 획득어지는 실제 생산 비이클 실링의 형상을 매칭하여 화면에 표시 한다.

개발된 형상 매칭법을 이용한 비이클 실링 검사 시스템을 이용하여 시료 5개를 샘플링하여 샘플당 5번 연속 실험한 결과 Table 4과 같았다. 이때 전체 시료 5개의 평균 매칭 스코어는

Table 2 sample types

Sample	Vehicle sealing section	Sample	Vehicle sealing section
1		4	
2		5	
3			

Table 3 Results of inspection using geometric matching method

Sample	Vehicle sealing section	Sample	Vehicle sealing section
1		4	
2		5	
3			

Table 4 Matching score inspection samples

No. / Sample	1	2	3	4	5
1	80%	81%	78%	80%	79%
2	84%	84%	85%	84%	83%
3	89%	87%	89%	89%	86%
4	78%	78%	76%	78%	78%
5	82%	81%	81%	81%	81%

82.08 % 로 나타났으며, 이는 기업에서 관리하는 품질 기준 70 % 보다 더 정확한 매칭 스코어를 나타내고 있다. 그리고 개발된 시스템의 매칭율을 분석하여 표준 편차를 확인하여 본

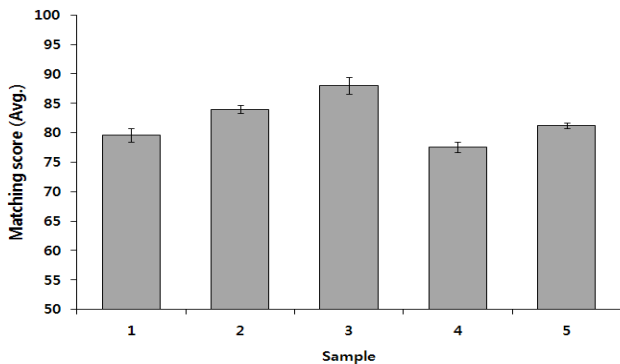


Fig. 12 Matching score result of each samples

결과 최소 0.7~최대 1.4 %로 나타났다. 즉, 시스템의 반복 오차가 Fig. 12와 같이 약 1% 내외로 정확도가 높은 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 비이클 실링의 설계 도면과 실제 생산 되는 제품의 단면을 검사하기 위하여 형상 매칭법을 이용하여 자동으로 검사 가능한 시스템을 개발 하였다. 개발된 시스템은 기존 사람이 직접 육안으로 검사 하던 비이클 실링 제품의 단면 검사를 완전 자동으로 검사 하는 시스템으로 대체 하였다. 그리고 이 시스템은 실제 생산 현장에 적용하여 운행 중에 있으며, 제품의 샘플링 검사 결과 기업의 요구 수준 보다 약 12%이상 정확도를 보였다. 또한, 검사 대상이 고무재질로 된 제품이기 때문에 고무 전용 지그를 개발하여 적용하였고, 검사 결과 고무제품의 변형을 최소로 하여 검사를 진행 할 수 있었다. 향후, 본 시스템은 더욱 다양해질 비이클 실링 제품뿐만 아니라 형상이 복잡한 복합 제품의 단면의 형상을 검사 하는데 있어서도 적용 가능 할 것으로 예상된다.

후 기

This research was supported by a grant from the Business for Greening the Manufacturing Environment Technology Development Project funded by the Korean Small and Medium Business Administration (Project no. S2025435)

References

- (1) Han, S. M., 2000, "The Trend of Vehicle Technology in US," *Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 22, No. 6, pp. 42~44.
- (2) Eom, J. G., Kim, D. S., Park, J. K., and Lee, M. S., 1996, "Door Seal Design using Taguchi Method and CAE," *Autumn Proceeding of the Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 230~236.
- (3) Han, S. H., Jang, G. J., Yoon, K. J., Cha, J. H., Roh, K. S., and Kweon, I. S., 2001, "Recent Developments in Machine Vision Research," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 3, pp. 23~34
- (4) Jain, R., Katsuri, R., and Schunck, B. G., 1995, *Machine Vision*, McGraw Hill, USA.
- (5) Tucit, J. D., Jung, H., and Jang, B. C., 2007, "Development of an Inspection System for Car Seat Bottom Cushion Frame using Machine Vision," *Proceedings of the Korea Academia-industrial Cooperation Society Conference*, pp. 253~255.
- (6) Kim, J. Y., and Cho, H. S., 2005, "Vision Based Part Shape and Misalignment Measurement in Cylindrical Peg in Hole Tasks," *Journal of Control Automation and Systems Engineering*, Vol. 11, No. 7, pp. 615~620.
- (7) Park, J. S., Yun, D. H., Jeong, C. S., Kim, Y. S., and Yang, S. Y., 2010, "Development of Machine Vision System for Inspection of Screw/Bolt Shape," *Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers Winter Conference*, pp. 1632~1637.
- (8) Choi, Y. J., and Chung, S. C., 2006, "Monitoring of Micro Drill Wear by using the Machine Vision System," *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 30, No. 6, pp. 173~1721.
- (9) Jang, D. H., 2003, Digital Image Processing using Visual C++, *Ymedia*, Koera, pp. 64~65.