

머신비전을 이용한 업쇼버 로드의 표면검사 시스템 개발

김성진^{1*}, 이성철²

¹(사)전북대학교 자동차부품금형기술혁신센터, ²전북대학교 기계공학과

Development of Inspection System for Surface of a Shock Absorber Rod using Machine vision

Seong-Jin Kim^{1*} and Seong-Cheol Lee²

¹Chonbuk National University Automobile-parts & Mold Technology Innovation Center

²Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University

요약 쇼크 업쇼버의 로드는 피스톤부 중심에 위치하여 왕복운동을 담당하는 부분으로 표면의 불량(찍힘)이 있을 경우 감쇠력에 대한 차이로 제품 성능을 제대로 발휘하는데 문제 발생의 요인이 되고 있다. 로드표면은 열처리 상태로 표면 광택으로 인하여 쉽게 불량이 표시되지 않으며, 작업자가 육안으로 로드의 이물질 및 찍힘, 기포 검사를 진행함으로써 눈의 피로도가 높아지고, 작업자 육안에 의존하기 때문에 제품의 검사 품질이 일정하지 않다.

본 연구에서는 제품의 원통 형상을 고려하여 라인스캐너카메라를 이용한 머신비전 영상처리 기법으로 0.3mm 이상의 표면의 불량을 검출하고, 검사단계에서 발생할 수 있는 표면 불량을 최소화하기 위한 전 공정 자동이송 및 양불 제품의 혼입을 방지하는 자동검사 시스템 개발에 대한 연구를 수행하였다. 표면검사 시스템 개발로 작업자의 육안 검사에 의존하고 있던 쇼크 업쇼버 로드의 표면에 대한 정밀 검사시스템 구축으로 품질검사 기준을 확보하고 표준화된 검사로 신뢰도가 향상되었다.

Abstract A shock absorber rod is located in the center of the absorber piston and is responsible for the reciprocating movement portion. If it has surface defects, the damping performance of product will be adversely affected. A rod surface has gloss by heat treatment. Therefore, it is difficult to find a defect, such as dust, imprints, and blowholes. Because a total inspection is achieved by visual inspection by workers, it causes eyestrain and the quality of the product is not constant.

In this paper, a machine vision system was developed to find a defect using a line-scan camera. The machine can detect surface defects than 0.3mm. To minimize the occurrence probability of defects on the inspection process, the developed auto inspection system had an automatic feeding system and incorporated a protection system. Through the development of this system, which relies on the operator's visual inspection of the surface of the shock absorber, the Rod inspection system constructed quality inspection standards and standardized tests to ensure improved reliability.

Key Words : Absorber rod, Automation, Image processing, Machine vision, Surface inspection

1. 서론

차량 현가시스템(suspension system)의 특성은 크게 탄력성과 차량의 강성(stiffness)에 영향을 미치는 스프링, 스테빌라이저(stabilizer bar) 등의 성능과 감쇠력에

영향을 미치는 댐퍼(damper)의 성능으로 이루어진다[1].

현가장치의 구성품 중 하나인 쇼크 업쇼버는 차량 바퀴나 프레임이 노면 상태, 가속시, 제동 및 선회에 따라 요동이 발생하는데 이런 움직임을 스프링만으로는 완화할 수 없으므로 스프링의 고유진동을 흡수하여 승차감을

본 논문은 한국산업단지관리공단의 생산기술사업화 지원사업으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Seong-Jin, Kim(CAMTIC)

Tel: +82-63-219-0313 email: ksj@camtic.or.kr

Received March 6, 2014

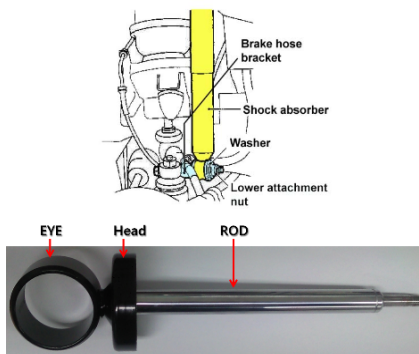
Revised April 10, 2014

Accepted June 12, 2014

향상시키는 작용을 하는 장치이다. 쇼크 업쇼버는 오일을 저장하는 리저버(reservoir)실과 감쇠력을 전달하는 피스톤부로 구성되며, 피스톤부의 중심에 rod가 위치하여 왕복운동을 전달한다. Fig. 1은 쇼크 업쇼바를 보여주고 있다.

이 로드 표면에 찍힘과 같은 불량이 있을 경우에는 감쇠력의 차이로 인하여 제품 성능을 제대로 발휘하는데 영향을 주는 문제의 발생 요인이 되고 있다.

현재, 쇼크 업쇼버 생산공정 중에 로드 표면의 불량발생 요인에 노출된 상태로 작업이 진행되어 불량 발생률이 높은 편이다.



[Fig. 1] Structure of Shock absorber

이와 더불어 열처리가 진행된 상태에서 로드 표면은 팽창으로 인하여 쉽게 불량이 표시되지 않고 있어 다수 인원을 투입하여 검사를 반복적으로 수행하고 있는 실정이다.

이러한 상태에서 작업자가 육안으로 로드의 이물질 부착, 찍힘, 기포 검사를 장시간 동안 반복적으로 진행함으로써 눈의 피로도가 높아지고, 또 작업자 육안검사에 의존하기 때문에 제품의 검사 품질이 일정치 않은 상황이다. 공정상 표면검사는 단계별 검사 작업으로 구성되어 있어 생산능력 확보를 위해서는 많은 인력이 소요되고, 특히 작업자의 작업능률에 의존한 생산성 문제는 국제화 시대에 가격 경쟁력에서 뒤떨어질 수밖에 없는 실정이다.

이러한 여건으로 말미암아 현재 제조업체들은 제품의 품질 향상을 요구하고 있으며, 부품 업체는 이러한 요구에 대응하여야 대외적인 경쟁력을 가질 수 있어서 가시적으로 정확한 생산데이터를 기초로 한 제품의 품질 향상이 필요한 실정으로 생산성 향상 및 품질 향상을 위한 정밀 자동화 검사시스템의 개발이 필연적으로 요구되고

있다.

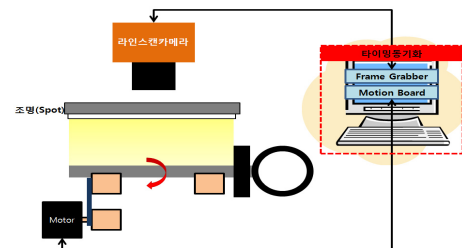
본 연구에서는 제품의 원통 형상을 고려하여 라인스캔카메라를 이용한 머신비전시스템을 구축하고 이를 활용하여 얻은 이미지로부터 영상처리 기법으로 표면의 불량을 검출하고, 검사단계에서 발생할 수 있는 표면 불량을 최소화하기 위한 전 공정 자동이송 및 양불 제품의 혼입을 방지하는 자동검사 시스템 개발에 대한 연구를 수행하였다.

2. 머신비전 시스템

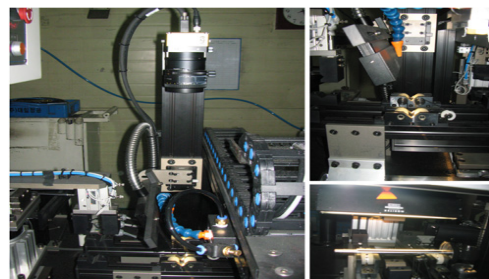
2.1 비전시스템 구성

업쇼버 로드의 표면에 대한 영상을 얻기 위하여 롤러를 이용한 로드 회전과 동시에 라인스캔카메라를 이용하여 영상을 취득하고, 회전 모터의 엔코더와 영상취득 신호를 동기화하도록 시스템을 구성하였다.

업쇼버 로드의 경우 표면 열처리가 되어 있어 빛에 의한 반사문제를 고려하여 할로겐 램프를 45°각도로 설치하여 최적의 이미지를 얻도록 하였다. Fig. 2는 머신비전 시스템의 구성도이고, Fig. 3은 개발한 시스템의 머신비전 부분의 실물사진이다. 이 시스템에 사용한 부품 사양은 Table 1에 표시하였다.



[Fig. 2] Layout of Machine vision system



[Fig. 3] Machine vision system

[Table 1] Specification of Machine vision System

Section.	Specification
Motion Controller	- Stepper Motor Controller : PCI-7332
Vision system	- Line Scan Camera : e2v Linescan Camera - Grabber Board : PCI-1428 - Lighting : Halogen type (150W)
Software	- LabVIEW 2010 - NI IMAQ VISION
Control	- Panel PC

2.2 영상 검출 알고리즘 구성

업쇼버 로드의 표면 검사에서 측정 항목은 표면의 찍힘, 스크래치, 이물질, 기포, 가공누락의 여부이다. 이를 검출하기 위해 획득한 이미지를 그레이 형상학(gray morphology)기법과 경계 검출(Edge detector)기법을 이용하여 검출 알고리즘을 구성하였다.

획득한 영상에서 잡음의 영향을 제거하기 위해 그레이형상학 기법의 open연산을 사용하였다[2-4].

Open 연산은 얻어진 영상을 행렬($f \times k$)라 할 때, 식 (1)과 같이 표현된다.

$$f \circ k = (f \ominus k) \oplus k \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } (f \oplus k)(x) &= \max\{f(x-z) + k(z)\} \\ (f \ominus k)(x) &= \max\{f(x+z) - k(z)\} \end{aligned}$$

이후 잡음이 제거된 영상에서 로드의 불량을 검출하기 위해 경계검출기법을 사용한다. 경계를 검출하기 위해 검출하고자 하는 line의 pixel profile을 함수 $f(x,y)$ 라 하면, 기울기 함수 $\nabla f(x,y)$ 는 다음 식 (2)와 같다.

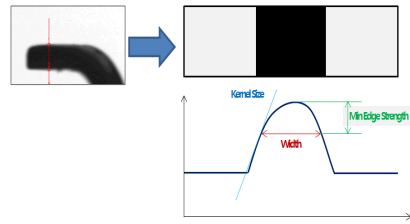
$$\nabla f(x,y) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right) = (f_x, f_y) \tag{2}$$

이로부터 기울기 크기 $M(x,y)$ 와 각도 $\theta(x,y)$ 를 다음 식 (3)과 식(4)와 같이 구하게 된다.

$$M(x,y) = \|\nabla f(x,y)\| = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \tag{3}$$

$$\theta(x,y) = \arctan \frac{f_x}{f_y} \tag{4}$$

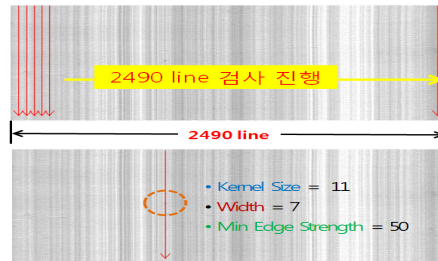
Fig. 4는 영상처리에서 경계검출 알고리즘의 개념을 보여주고 있다[5].



[Fig. 4] Edge detector algorithm

로드 표면의 불량을 검출하기 위해 획득한 영상의 수직픽셀을 하나의 Line으로 설정하였으며, 총 2,490 Line에 대하여 순차적으로 경계검출기법을 사용하여 검사하였고, 검사 진행 중 1 point 이상 경계가 검출되면 불량으로 판정하였다.

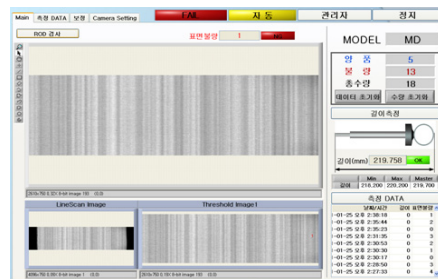
쇼크업쇼버 로드의 불량은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 영상처리에서 kernel size=11, width=7, min edge strength=50일 때, 0.3mm의 불량까지 검출되며, 로드에 부착된 미세 먼지와 구별이 가능하였다.



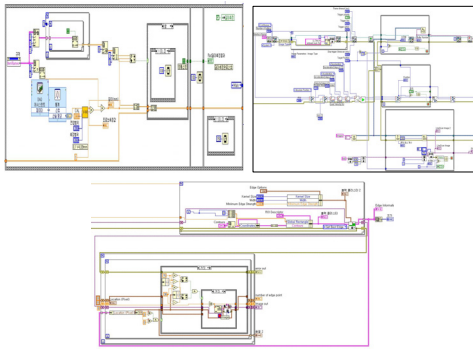
[Fig. 5] Vision inspection method

2.3 표면검사 프로그램 개발

검사프로그램은 그래픽 기반의 소프트웨어인 NI LabVIEW SW를 사용하였고 프로그램에서 제공하는 이미지 툴을 이용하여 Fig. 6과 같이 사용자 검사자가 사용에 편리하도록 GUI(Graphical User Interface) 중심의 프로그램을 개발하였다[6,7]. Fig. 7은 LabVIEW S/W를 이용한 프로그램 블록의 일부를 보여주고 있다.



[Fig. 6] Main frame of Inspection operation window



[Fig. 7] Block diagram of NI LabVIEW program

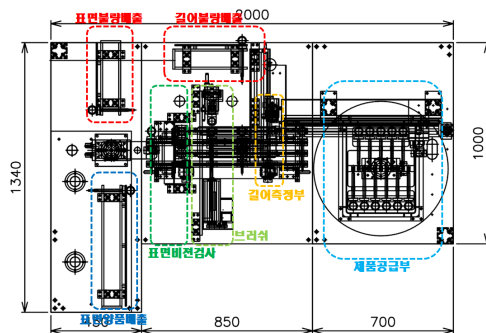
검사 제품의 측정 데이터를 기록하고 저장하며, 데이터 통계 관리, 일별/월별 생산량 관리, 검사 조건에 대한 설정 값을 변경할 수 있도록 프로그램을 구성하였다.

3. 표면불량 전수검사 시스템

3.1 시스템 설계

검사 단계에서 발생할 수 있는 표면 불량을 최소화하기 위한 전 공정 자동이송 및 양불 제품의 혼입 방지와 제품의 연속 검사를 수행할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

자동화 검사시스템의 공정 흐름은 제품공급, 전장검사, 이물질 제거, 표면검사, 양불 판별 및 배출의 순서로 구성하였으며, 제품 공급은 파레트(pallet) 단위로 공급할 수 있도록 하였다. Fig. 8은 시스템의 2D 설계도를 보여주고 있다.



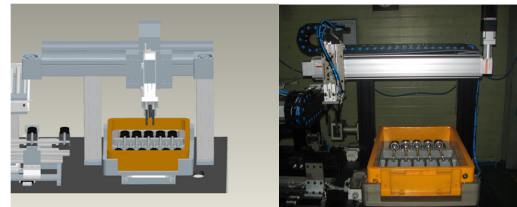
[Fig. 8] 2D System layout

3.2 순차 이송을 위한 공급 시스템

검사하고자 하는 쇼크업쇼버의 로드는 Pallet단위로 공정을 이송한다. 한 Pallet 당 11개의 제품이 공급이 2열로 정렬되어 있어 제품 공급을 위해 Pallet을 turn table 상의 공급지그에 위치시키고, 이를 이송직교축에 공압실린더를 장착하여 제품을 순차적으로 공급하도록 설계하였다.

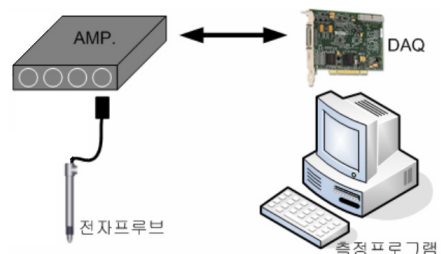
쇼크 업쇼버 로드 이송은 eye 부분과 로드중심 부분을 잡고 이동하도록 구성하였다. Fig. 9는 3D CAD모델과 이송부부의 완성된 사진을 보여주고 있다.

3.3 전장 검사 및 불량 배출

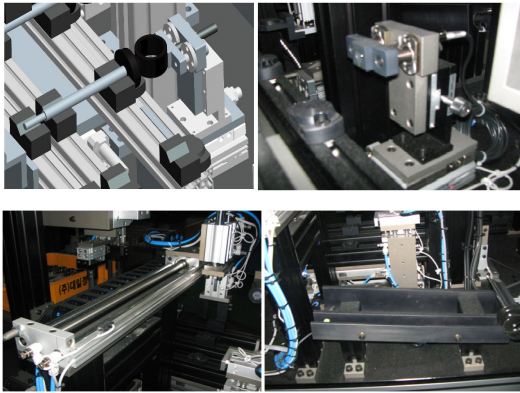


[Fig. 9] 3D CAD model and photo of feeding part

접촉식 전자프루브를 이용하여 로드의 전장을 검사할 수 있도록 구성하였으며, 마스터를 이용하여 상대 측정 방법으로 한쪽은 지그를 사용하여 고정하고 1 point를 측정하였다. 이때 반복정밀도는 $\pm 0.1\mu\text{m}$, 측정 stroke는 $\pm 4\text{mm}$ 이었다. 로드의 전장 검사를 통하여 불량으로 판별된 제품은 공압실린더를 이용하여 장비 후면으로 배출하도록 설계하였다. Fig. 10과 Fig. 11은 길이 측정부의 구성, 3D CAD모델과 시스템의 실제 사진을 보여주고 있다.



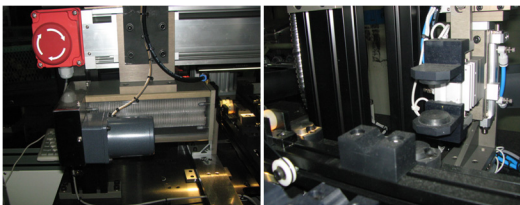
[Fig. 10] Layout of length inspection system



[Fig. 11] 3D CAD model and photo of length inspection

3.4 표면 이물질 제거

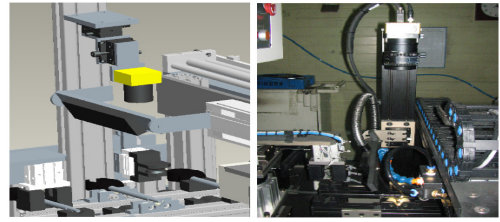
쇼크 업쇼버에 부착된 표면 이물질을 제거하는 방법으로는 4개의 브러시를 이용하였다. 쇼크 업쇼버의 eye 부분을 잡고 들어 올려 브러시를 회전시키면서 전진/후진하면서 로드 표면에 부착된 먼지 등의 이물질을 제거하였다. Fig. 12는 표면 이물질 제거부의 실물 사진을 보여주고 있다.



[Fig. 12] Photo of removing part of a alien matter

3.5 표면 불량 검사

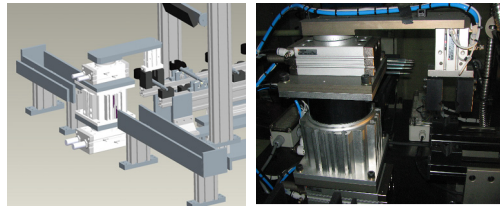
원통형 구조로 이루어져 있는 쇼크 업쇼버의 전방향 검사를 위해서 모터를 구동시켜 쇼크 업쇼버를 회전시키면서 이미지를 획득하도록 구성하였다. 로드 표면 이미지를 획득하기 위하여 라인스캐너카메라와 조명장치를 설치하고 AC모터와 고무링을 통해 롤러를 구동하도록 하였다. Fig. 13은 표면 전체의 영상을 머신비전으로 획득하는 시스템의 3D CAD 모델과 실제 제작품의 사진을 보여주고 있다.



[Fig. 13] 3D CAD model and photo of machine vision

3.6 양품/불량품 배출

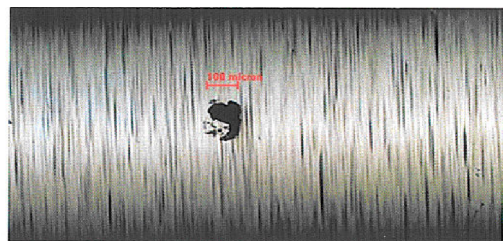
비전 검사 시스템으로 검출된 불량품은 Fig. 14에서 보는 바와 같이 회전식 공압 실린더를 이용하여 양쪽으로 분리 배출되도록 구성하였고 제품 배출부의 안착 지그는 모든 제품에 호환되도록 설계/제작하였다.



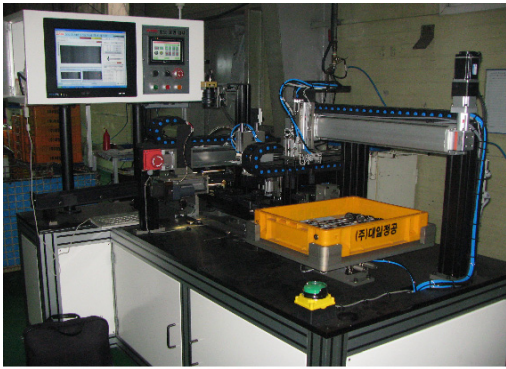
[Fig. 14] 3D CAD model and photo of unloading part

4. 성능평가

연구결과로 설계 제작한 시스템의 성능은 쇼크 업쇼버 자동검사 시스템의 불량판별율, 불량 판별조건, 사이클 타임, 검사 최대길이, 최소 검출크기 등의 평가항목에 대하여 성능을 평가해 보았다. 불량판별율은 100%, 불량 판별조건은 1점 이상의 경우 불량으로 간주하였으며 통계자료를 분석하였다. 사이클 타임은 5sec이내, 검사 최대길이는 로드길이 220mm까지 검사가 가능하였다. 불량 최소 검출크기는 0.1mm로 하여 확대경으로 측정한 100 μ m 샘플 도료에 대하여 30회 반복 측정한 결과 100% 검출 가능하였다. Fig. 15는 성능평가에 사용되어진 찍힘량에 대한 확대영상을 보여주고 있다.



[Fig. 15] Image of surface defect for performance test



[Fig. 16] Photo of inspection system

5. 결론

쇼크 업쇼버 생산공정 중에 로드 표면의 불량요인에 노출된 상태로 작업이 진행되어 불량이 발생되고 있는 시스템의 검사 품질을 향상시키기 위한 시스템 개발의 필요성에 따라, 본 연구에서는 Fig. 16에서 보는 바와 같은 검사시스템을 설계하여 제작하였다.

쇼크 업쇼버의 로드 표면을 라인스캔방식을 이용하여 이미지를 획득하고, 영상처리기법 알고리즘을 통해 0.3mm이상의 표면 불량을 검출하고, 이에 대한 검사프로그램을 개발하였다. 검사 사이클 타임이 기존 8초에서 5초로 감소하면서 생산성이 62% 정도 향상되었다.

본 연구결과에 대한 기대요건으로 균일한 작업조건 설정으로 검사 품질이 향상되고 검사 시간이 단축되며, 작업시간을 고려한 공정배치를 통해 일일 생산수량이 증가하고 검사자의 작업 부담 및 직무기피 요인이 해소될 것으로 기대된다. 또한, 불량품에 대한 자동검사로 제품 신뢰도 향상, 품질 경쟁력 확보, 차후 개발 차종에 대한 아이템 적용 확대가 용이할 것으로 기대된다.

References

[1] J. H. Jang, K. W. Lee, "A Technical Trend of Vehicle Suspension Control Systems", *Auto Journal*, Vol. 31, pp. 33-41, 2009.
 [2] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd Edition. Prentice Hall, 2001.
 [3] I. Piras, *Digital Image Processing Algorithms And Applications*, WILEY, 2000.

[4] S.H. Yu, Y.K. Kim, "On the TFT-LCD Cell Defect Inspection Algorithm using Morphology", *Journal of the Korean Institute of Illuminating an Electrical Installation Engineers*, Vol.21, No.1, pp. 19-27, January 2007.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2007.21.1.019>
 [5] S. M. Kim, J. Y. Yoon, Y. C. Lee, and S. C. Lee, "Inspection System of Omission and Eccentricity of Welded Nuts using Machine Vision", *Control, Automation and Systems Symposium 2006, ICASE*, pp. 506-511, 2006.
 [6] Thomas Klinger, *Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision*, Prentice Hall, June 11, 2003.
 [7] National Instrument, *NI VISION Manual*, pp. 517-521, 1990.
 [8] Linda G. Shapiro and George C. Stockman, *Computer Vision*, Prentice Hall, 2001.
 [9] David Vernon, *Machine Vision, Automated Visual Inspection and Robot Vision*, Prentice Hall, pp. 118-130, 1991.
 [10] S. H. Han, "Vision System Design for Automated Test and Repair of Steam Generator Holes in Nuclear Power Plants," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol.15, No.6, pp.5-14, 1998.
 [11] S.J. Yang, S.J. Kim, S.C. Lee, G.E. Yang, "Development of Surface Inspection System Using Line Scan Camera in Shock Absorber Rod", *KSPE spring conference 2011*, pp. 309-310.
 [12] C.Y. Lim, D.W. Shin, J.K. Yoon, "A Yarn process Inspection system using Image Processing", *Journal of Korean Society for Precision Engineering*, Vol.30, No.5, pp.513-519.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2013.30.5.513>

김 성 진 (Seong-Jin Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 전북대학교 대학원 기계공학과 (석사)
- 2010년 2월 : 전북대학교 대학원 기계공학과(박사수료)
- 2006년 3월 ~ 현재 : (사)전북대학교 자동차부품급형기술혁신센터 책임연구원

<관심분야>

메카트로닉스, 머신비전, 생산자동화

이 성 철(Seong-Chol Lee)

[정회원]



- 1976년 2월 : 전북대학교 대학원
기계공학과 (공학석사)
- 2004년 3월 : 일본 동북대학교
기계정보공학과 (공학박사)
- 1979년 7월 ~ 현재 : 전북대학교
교수

<관심분야>

메카트로닉스, 임베디드시스템, 시스템 자동화