

PZT 나노 스테이지를 이용한 광센서의 위치결정

A Position Decision of Photo Sensor using a PZT Nano Positioning Stage

차 영업*

(Young-Youp Cha^{1,*})

¹Division of Mechanical & Automotive Engineering, Wonkwang University

Abstract: For machining systems like the motor driven linear stage which have high precision positioning with a long stroke, it is necessary to examine the repeatability of the reference position decision. Though piezo (PZT) actuator driven linear stages have high precision feed drivers and a short stroke, they have some limitations for reference position decisions if they have not been equipped with an accurate home sensor. This study was performed to examine the repeatability for home position decision of a EE-SX671 photo sensor as a home switch by using piezo actuator driven linear stages and capacitance probe.

Keywords: photomicrosensor, position decision

I. 서론

높은 강성과 상대적으로 낮은 가격을 갖는 볼나사 구동 스테이지의 경우 위치제어 시스템에 많이 쓰이고 있다. 그러나 볼나사의 비선형성과 위치에 따라 변하는 마찰특성, 구동부의 위치 피드백을 위한 센서 분해능, 홈센서의 정확도 등으로 인해 위치 정밀도를 높이는데 한계가 있다.

피에조 액츄에이터를 사용하는 PZT 스테이지는 볼나사 구동 스테이지 경우의 많은 단점을 극복할 수 있지만, 이동거리가 짧은 단점이 있다. 이를 스테이지에 대한 대부분의 영역은 많은 연구가 이루어져 왔지만, 볼나사 또는 피에조 구동 스테이지의 정밀도 관점에서 홈센서의 위치정밀도에 관한 연구는 아직 미미한 실정이다[1-3].

리미트 센서와 홈센서는 직동과 회전테이블, 이동장치, 크레인 및 트랜스퍼장치 등 기구의 이동한계 또는 구동시점 등을 지정하여 신호를 출력하는 스위치 장치이다. 이러한 리미트 센서와 홈센서는 크게 접촉식과 비접촉식으로 구분할 수 있다. 접촉식은 기구의 상한 한계 지정용으로 사용되는 중추식, 상한과 하한 한계 지정과 구동장치 한계 설정용으로 사용되는 위엄 기어식, 그리고 주행장치의 좌우한계와 중앙위치 지정용으로 사용되는 레버식 등이 있고 이를 줍은 의미의 리미트 스위치라고 한다. 비접촉식은 근접센서, 포토 마이크로센서 등이 있다.

비접촉식이 접촉식보다는 응답속도도 빠르고 지향성도 좋고 면지가 많은 환경에 영향을 받지 않으며 스위칭 횟수

가 무한대이고 수명이 거의 영구적이다. 그러나 단점은 접촉식보다 큰 전류를 낼 수 없고 노이즈에 약하며 온도영향이 크고 기구장치가 단순하지 않다는 것이다.

포토센서[4-6]란 빛을 매개체로 하여 물체의 유무검출, 색체 검출, 색 농도검출, 이미지검출 등에 사용되는 검출기기를 말한다. 즉, 검출대상이 광학적 에너지이며 전자파이기도 하는데, 빛의 종류에는 눈에 보이는 가시광선이 있고 눈에 보이지 않는 자외선, 적외선등이 있으며 특히 X선과 같은 투과도가 높은 방사선도 있다. 이러한 빛을 응용한 기기에는 복사열의 색상으로 온도를 검출하는 적외선 온도센서에서부터 광통신, 광리모콘, 카메라, 투시경, X선투사기 및 촬영기에 이르기까지 헤아릴 수 없을 정도로 많다. 그러나 통상 포토센서라고 하는 것은 물체의 위치나 상태, 자세 등을 검출, 판단하기 위해 사용되는 것으로, 검출 소자로서는 포토다이오드를 비롯하여 포토 트랜지스터, CdS 셀, 포토IC, 태양전지, 이미지센서 등이 있다.

본 논문에서는 위치제어 시스템으로 사용되는 볼나사 구동 스테이지와 PZT 스테이지의 리미트(limit) 센서와 홈(home) 센서로 많이 사용되는 광센서의 위치 정밀도에 대한 것으로, 나노미터 분해능을 가진 PZT 스테이지와 커페시티브 센서를 이용한 결과를 보여준다.

II. 포토 센서

반도체의 접합상태나 수광소자 등에 따라 분류되는 포토센서를 여기서는 광전효과에 따라 분류한다. 포토센서는 빛 에너지를 전기에너지로 변환하는 일종의 트랜스듀서로서 빛과 물질사이에는 물리적 상호작용이 존재한다. 즉, 물질이 광자를 흡수하고 그 결과 전자를 방출하게 되는데 이 현상을 광전효과라고 한다[4,5,7].

광전효과를 이용한 광전스위치는 빛을 내는 발광부와 그 빛이 대상물에 의해서 반사, 투과, 흡수, 차광 등의 변화를 인지하는 수광부에서 on/off 신호를 내는 것이다. 즉, 전기

* Corresponding Author

Manuscript received January 4, 2016 / revised February 2, 2016 / accepted February 17, 2016

차영업: 원광대학교 기계자동차공학부(ggypcha@wonkwang.ac.kr)

※ 본 논문은 2015학년도 원광대학교 교비지원에 의하여 연구하였음.

※ 본 논문은 2015년 ICROS 전북제주지부 학술대회에서 초안이 발표되었음.

에너지를 빛으로 변환시키는 발광소자(GaAs, CaAlAs, GaP 등의 PN 접합소자)를 사용하여 빛을 내는 발광부에 의해 검출대상을 향해 빛을 조사하고, 검출대상에 의해 변화된 빛을 수신하여 전기적 신호로 변환 및 증폭시키는 수광부를 갖춘 일종의 센서를 광전스위치라 한다.

그 특징으로는 비접촉으로 검출이 가능하고, 검출거리가 길며, 대부분의 대상물을 검출할 수 있고, 응답 시간이 빠르며, 색의 판별이 가능하고, 빛의 수광넓이와 굽기를 자유로이 설정하기 쉬운 장점이 있으나, 렌즈에 먼지 같은 것으로 덮여서 발광과 수광에 방해를 받을 수 있고, 외란 광에 주의하여야 한다.

광전스위치는 검출방식에 따라서 투과형, 미러반사형, 직접반사형으로 분류된다. 투과형은 광축이 일치되어 있기 때문에 발광기로부터 나온 빛은 수광기에 입사 되는데, 만일 검출체가 접근하여 빛을 차단하면 수광기에서 검출신호가 발생한다. 이와 같은 투과형은 검출거리가 가장 길고 검출정도도 높지만 투명물체의 검출은 곤란하다.

미러반사형은 발광기와 미러 사이에 반사율이 낮은 물체가 광을 차단하면 출력신호를 내는데, 광축조정이 쉽고 편측배선으로 설치장소나 배선비용이 투과형에 비해 싸게 들고 직접반사형보다 검출거리가 길다. 그러나 반사율

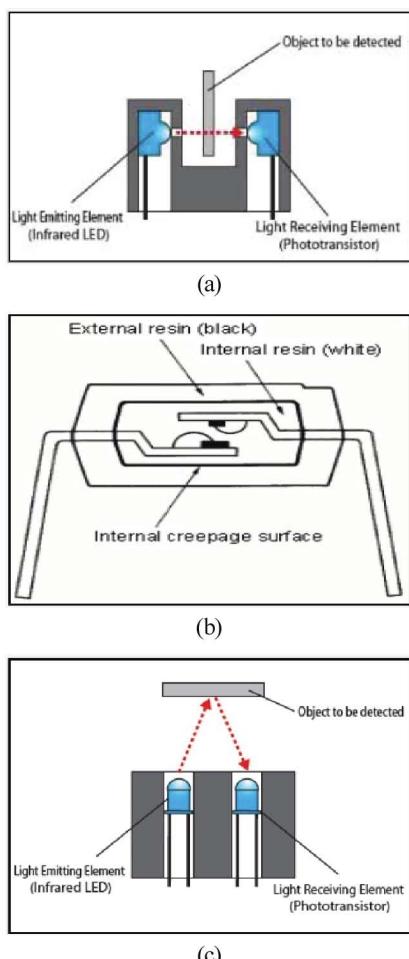


그림 1. 광전 스위치.

Fig. 1. Photoelectric switch.

이 높은 물체의 검출은 곤란하다.

직접반사형은 확산반사형이라고도 하며 미러반사형처럼 발광기와 수광기가 하나의 케이스에 내장되어 있으며, 발광기로부터 나온 빛이 검출물체에 직접 부딪혀 그 표면에서 반사하고, 수광기는 그 반사광을 출력신호로 발생시킨다. 이와 같은 직접반사형은 한쪽 배선만으로 배선을 절약할 수 있고, 미러가 필요 없어서 설치가 자유롭고 광축 맞추기 등의 조정이 불필요하고 투명체를 포함하여 거의 모든 물체를 검출할 수 있지만 검출거리가 가장 짧은 단점이 있다.

이와 같은 광전스위치들이 그림 1에서 보여 진다. 그림 1(a)는 광투과형 포토인터럽터의 실물 사진이다. 포토 인터럽터는 발광부(LED)와 수광부(phototransistor)로 구성된 광센서로 회로에서 널리 사용되는 포토커플러와 본질적으로 동일하다. 한쪽에는 LED가 다른 편에는 포토트랜지스터가 있어서 LED의 빛을 감지하면 포토트랜지스터가 동작하게 된다. 물론 여기서 사용되는 LED의 불빛은 가시광의 파장대가 아니므로 사람의 눈에는 보이지 않는다. 이 그림에서 가운데 홈 좌측을 보면 LED 광이 지나는 긴 흄이 보인다.

그림 1(b)는 포토커플러의 실물과 내부 구조를 보여준다. 포토인터럽터처럼 LED와 포토트랜지스터 부분이 외부로 드러나 있지 않고 반도체 패키지 내부에 위치한다는 것을 제외하고는 본질적으로 포토인터럽터와 동일하다. 그림 1(c)는 광반사형 포토인터럽터의 구조를 보여주고 있다. 검출물체의 반사광을 이용하는데 반사광의 양과 거리로 인해 오동작이 발생할 수 있다.

III. 위치결정 실험

그림 2는 볼나사 구동 스테이지와 PZT 액츄에이터를 사용하는 나노 스테이지의 리미트와 홈센서로 많이 사용되는 광센서 위치결정을 위한 실험 구성을 보여주고 있다. 먼저 PZT 구동 스테이지 제어용 컴퓨터 내에 Visual C++로 직접 코딩한 스테이지 제어화면에서 이동 명령이 주어지면 컴퓨터와 연결된 PZT 컨트롤러에 이동 명령이 입력되어 PZT 액츄에이터가 동작한다. PZT 액츄에이터로 구동되는 스테이지에는 실험용 광 가림판이 장착되어 있고, 상대적으로 정밀 평면 테이블에 고정된 광센서에 광 가림판이 가까워지면서 신호가 주어진다.

광 가림판이 고정된 스테이지의 이동 거리는 capacitive sensor 사이의 간극에 해당하는 전압이 capacitive amplifier를 거쳐서 출력신호를 만든다. 이 출력 신호는 National

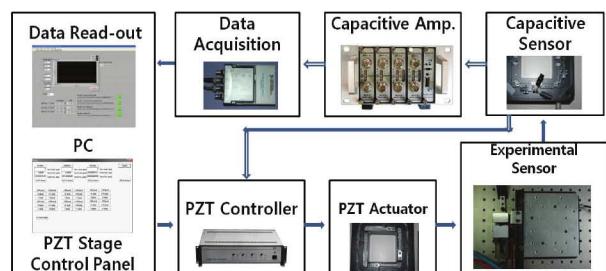
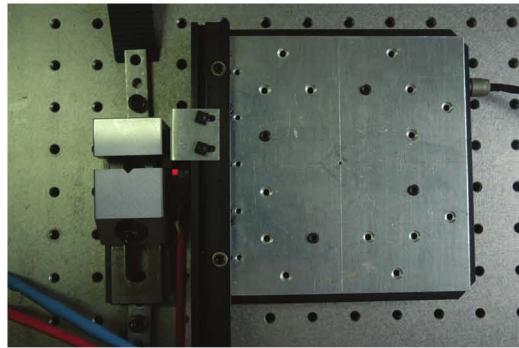
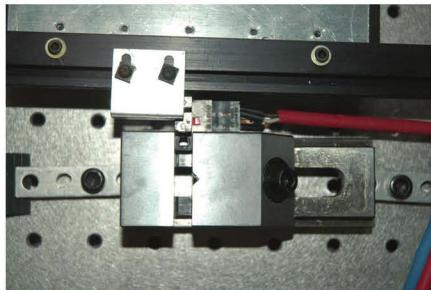


그림 2. 위치결정 실험을 위한 신호 흐름도.

Fig. 2. An signal flow for position decision experiment.



(a) 3-axes PZT driven stage.



(b) Home and limit switches, and gap sensor.

그림 3. 실험장치.

Fig. 3. Experimental setup.

Instrument사의 USB-9162 Hi-speed USB carrier와 NI 9215 BNC 장치를 사용한 데이터 수집장치를 통하여 Labview를 이용하여 선형화와 캘리브레이션에 의하여 최종 데이터를 얻는다. 결과적으로 실험은 스테이지 제어용 컴퓨터에서 사용자 인터페이스를 위한 Visual C++로 작성된 스테이지 제어화면에서 명령을 주고, 결과는 Labview를 통하여 작성한 capacitive sensor의 출력 데이터를 획득하는 과정으로 이루어진다.

그림 3은 실험에 사용된 PZT 스테이지에 장착된 광 가림판과 테이블에 고정된 광센서를 보여주고 있다. 고정밀 평면 테이블에는 광센서를 장착하고, 같은 평면 테이블에 고정된 PZT 스테이지에는 광 가림판을 장착시켜서 스테이지와 함께 수평인 X-축 방향으로 이동하도록 하였다. 실험에 사용된 PZT 스테이지와 컨트롤러는 Physik Instrumente GmbH & Co. [8]의 P-563.3CD와 E-710.3CD이고, 피드백 장치로 나노 스테이지에는 커패시티브 센서가 장착되어 있다. 구동 테이블 넓이는 가로 세로 모두 140mm, 각 축의 최대 이동거리는 300nm, 개루프 분해능은 0.7nm, 폐루프 분해능은 1nm, 폐루프 선형성은 0.03%이다.

여기에서 부착하여 실험한 광센서는 그림 4와 같이 Omron Electronics Co. [9]의 EE-SX671이고, 검출거리는 5mm이며 광원으로 GaAs 적외선 발광다이오드(940nm)를 사용하는 센서이다. 표준 검출물체는 2*0.8mm 이상이어야 하고, 응답 주파수는 1KHz 이상이다. 제어출력은 NPN 오픈컬렉터 타입으로 DC5~24V, 100mA 이하이다. 그리고 센서크기는 길이 20.7mm 폭 26.2mm 그리고 높이 15.5mm이다.

그림 5는 불나사 또는 PZT 구동 리니어 스테이지의 위치 결정에 사용되는 광센서의 위치결정 실험을 위하여

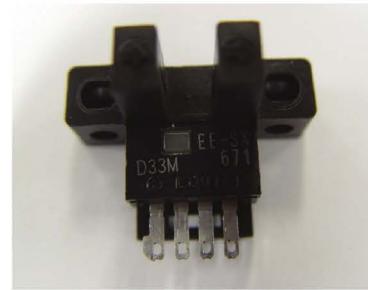


그림 4. 홈과 리미트 스위치로 사용되는 포토 마이크로 센서.

Fig. 4. The photo micro sensor which is used in home and limit switches.

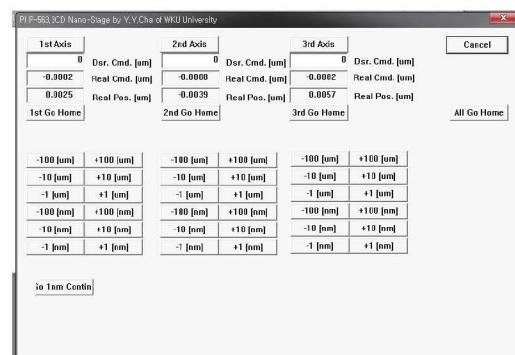


그림 5. Visual C++을 사용한 제어 패널.

Fig. 5. Control panel using Visual C++.

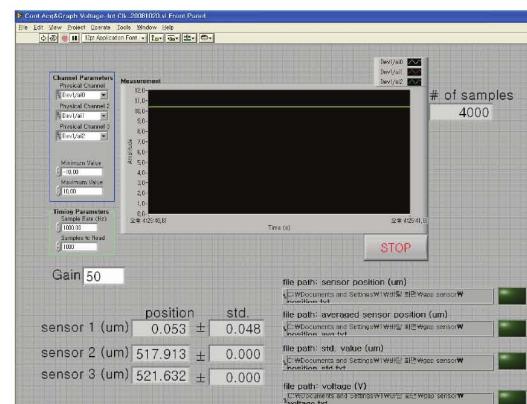


그림 6. Labview를 사용한 데이터 획득 패널.

Fig. 6. Data acquisition panel using Labview.

MicroSoft 사의 Visual C++로 직접 작성한 나노 스테이지 구동용 사용자 인터페이스 화면을 보여주고 있다.

PZT 나노 스테이지의 위치결정 실험을 위하여 나노 스테이지에 함께 장착된 capacitive sensor 사이의 간극에 해당하는 전압이 capacitive amplifier를 거쳐서 출력신호를 만든다. 이 출력신호는 National Instrument의 USB-9162 Hi-speed USB carrier와 NI 9215 with BNC 장치를 사용한 데이터 수집장치를 통하여 Labview를 이용하여 선형화와 캘리브레이션에 의하여 최종데이터를 얻는다. 그림 6은 Labview를 이용하여 작성한 capacitive sensor의 출력데이터 획득을 위한 화면을 보여주고 있다.

IV. 실험결과

볼나사를 사용하는 직선구동 스테이지는 홈 위치결정의 특성상 초기에는 홈센서 쪽으로 빠른 속도로 접근하여 홈센서를 인식하여 정지하고, 다시 일정거리만큼 반대방향으로 이동한 후, 홈센서 쪽으로 느리게 접근하면서 홈센서를 인식하고 정지한 후, 홈 위치에서 일정거리만큼 떨어진 곳에 기준위치가 설정된다. 따라서 두 번째의 홈센서 쪽으로 접근에서 홈센서의 정확한 인식은 볼나사 구동 스테이지의 초기화에서 중요한 인자이다[10,11].

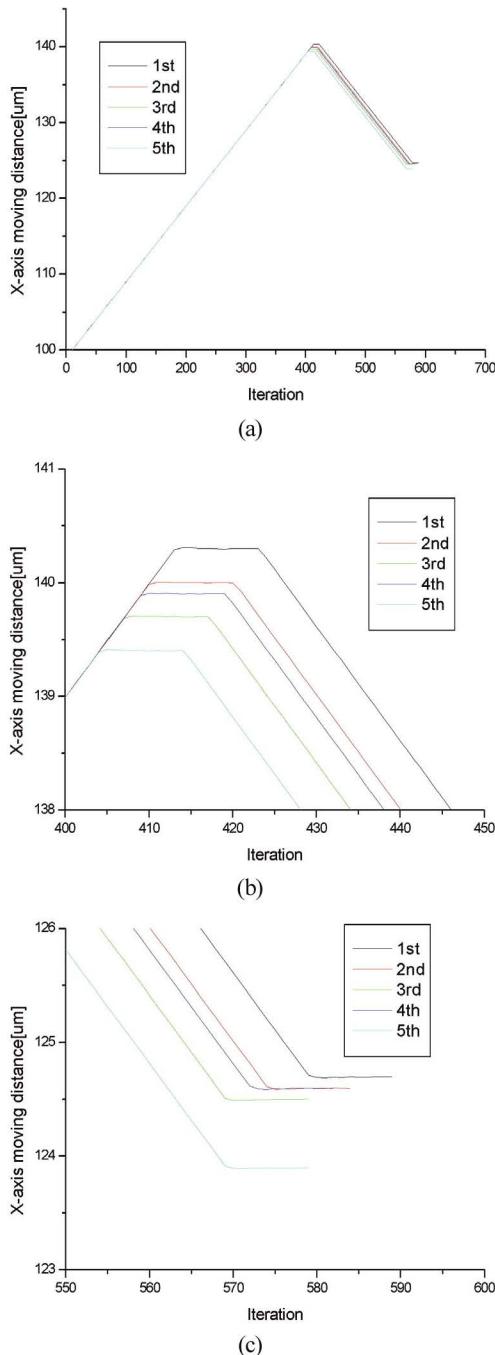


그림 7. 홈 위치 결정 실험결과.

Fig. 7. Experimental results of position decision in nano positioning stage.

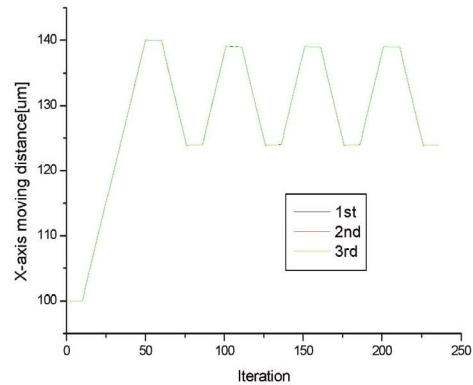


그림 8. PZT 구동 스테이지에서 증분 이동 실험 결과.

Fig. 8. Experimental results of position decision in PZT positioning stage.

본 연구에서는 PZT 스테이지를 사용하기 때문에 이와 같은 과정을 거치지 않고 PZT 스테이지에 장착된 광 가림판을 일정량만큼 증분이동을 시킨 후 광센서 감지 유무를 확인한 후에 감지가 되지 않으면 감지될 때까지 위 과정을 계속 반복한다. 그리고 광센서가 광 가림판을 감지하면 일정시간 정지 후에 실험을 위하여 반대방향으로 광 가림판을 증분 이동하여 광센서가 off가 될 때까지 이동한 후에 멈춘다.

그림 7(a)는 위 과정을 5회 반복한 것을 보여주고 있다. 그림 7(b)는 광센서가 on되는 순간을 확대한 것이고, 그림 7(c)는 광센서가 off되는 순간을 확대한 것이다. 매회에서 그래프가 수직 방향으로 조금씩 이동하는 것은 광센서의 정밀도 때문으로 보이고, 첫 번째 홈 위치선정에서는 약 $0.9\mu\text{m}$ 의 정밀도를 가지는 것을 알 수 있고 두 번째 광센서가 off가 되는 곳에서도 약 $0.9\mu\text{m}$ 의 정밀도를 보인다. 그리고 광센서가 on이 된 후에 다시 off가 되는 이동거리는 약 $15\mu\text{m}$ 의 결과를 보인다.

그림 8은 광센서 on 후에 광센서가 off가 되는 4회 증분 이동을 한 것을 3회 반복실험한 결과를 보여준다. capacitive probe에서 멀어지는 방향으로 명령을 주었으며 각각의 명령 위치에 도달하기 위하여 그림 7에서와 같이 약 $15\mu\text{m}$ 의 응차거리가 생기는 것을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 위치제어 시스템으로 사용되는 볼나사 또는 PZT 구동 스테이지의 리미트 센서와 홈센서로 많이 사용되는 광센서의 위치 정밀도에 대한 것으로, 나노미터의 분해능을 가진 PZT 엑츄에이터 스테이지를 이용한 실험을 하였고, 최종 홈 위치선정에서는 약 $0.9\mu\text{m}$ 의 정밀도를 가지는 것을 알 수 있었다. 또한 광센서가 on이 된 후에 반대방향으로 이동하여 off가 되는 거리는 약 $15\mu\text{m}$ 의 차이를 보여주었다.

REFERENCES

- [1] J. S. Chen, K. C. Chen, Z. C. Lai, and Y. K. Huang, "Friction characterization and compensation of a linear

- motor rolling guide stage," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 43, no. 9, pp. 905-915, Jul. 2003.
- [2] C. Hsieh and Y. C. Pan, "Dynamic behavior and modeling of the pre-sliding static friction," *Wear*, vol. 242, no. 1-2, pp. 1-17, Jul. 2000.
- [3] Omron Korea Homepage, <http://www.ia.omron.co.kr>
- [4] H. B. Lim, "Sensor technology," *The Electric Parts & Components Monthly*, no. 8, pp. 94-100, 2003.
- [5] S. H. Seo, "Photo sensor technology," *The Electric Parts & Components Monthly*, no. 12, pp. 12-24, 1995.
- [6] F. M. Chen, H. X. Yang, and Z. M. Li, "Influences of effective width of photo-electric sensor on acceleration measurement," *Proc. of 2010 Asia-Pacific Conference on Power Electronics and Design*, vol. 1, pp. 72-75, 2010.
- [7] S. H. Seo, "Material of the semiconductor photo-sensor," *The Electric Parts & Components Monthly*, no. 6, pp. 53-59, 2001.
- [8] Physik Instrumente GmbH & Co. Homepage, <http://www.pi.ws>
- [9] Omron Homepage, <http://www.omron.com>
- [10] Y. Y. Cha, "A position decision experiment in ball-screw driven linear stage using a photomicrosensor," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 20, no. 4, pp. 463-467, 2014.
- [11] Y. Y. Cha, "The position decision of EE-SX671 photo sensor by using a PZT stage," *Proc. of 2015 ICROS Jeonbuk - Jeju Regional Conference (in Korean)*, no. 1, pp. 64-68, 2015.

차영엽



1984년 부산대학교 기계공학과 졸업.
1987년 한국과학기술원 생산공학과 석사.
1995년 한국과학기술원 정밀공학과 박사.
1995년~현재 원광대학교 기계자동차공학부 교수.
관심분야는 로봇과 영상처리.