

## ODN제조 공정 정밀도 향상을 위한 진직도 측정시스템 개발

김응수<sup>†</sup>

부산외국어대학교 전자로봇공학과

### Development of Straightness Measurement System for Improving Manufacturing Process Precision

Eung Soo Kim<sup>†</sup>

Department of Electronic Robot Engineering, Busan University of Foreign Studies,  
65, KeumSaem-Ro 485 beongil, KeumJeong-Gu, Busan 46234, Korea

(Received February 24, 2019; Corrected March 17, 2019; Accepted March 21, 2019)

**초 록:** 본 논문에서는 공작기계 등에서 필요로 하는 진직도 측정시스템을 가시광의 레이저와 CMOS 이미지센서를 사용하여 저가로 구현하였다. CMOS 이미지센서를 이용하여 광이미지를 검출하고 영상처리를 통해 진직도 변화를 계산하였다. 레이저와 이미지센서의 거리를 3 m로 하여 실험한 진직도 측정에서 오차가 0.9%로 우수함을 확인하였으며, 제작된 진직도 시스템은 3D 프린터 등 다른 응용분야에서도 사용 할 수 있을 것으로 생각된다.

**Abstract:** In this paper, a high precision straightness measurement system has been developed at low cost using a visible laser and CMOS image sensor. CMOS image sensor detected optical image and the variation of straightness was calculated by image processing. We have observed that the error of the developed straightness measurement system was 0.9% when a distance of 3m between laser and image sensor. And it can be applied to 3D printer and any other areas.

**Keywords:** Straightness, CMOS, Visible laser, Image sensor, 3D printer

## 1. 배 경

정보통신 기술이 발달되면서 우리사회는 많은 변화와 발전을 하고 있다. 우리의 생활은 편리해지고, 컴퓨터가 인간 대신에 작업을 하게 되는 경우가 점점 더 많아 지고 있다. 특히 전자 기술이 발달되면서 가정에서 사용하는 생활가전의 성능은 점점 더 좋아졌고, 무게와 크기는 가벼워져 공간 활용면에서 유리하게 변하고 있다. 그래서 요즘 많이 사용하고 있는 스마트 폰 등 개인휴대용 장비도 가볍게 작아지고 성능과 기능은 발전되어 보급이 급속도로 증가하고 있다. 산업현장에서 사용하는 산업용 장비의 성능과 기능이 더 좋아지고 있다. 이렇게 가정이나 산업계에서 사용하는 고성능의 장비가 가능하게 된 것은 센서기술이 중요한 역할을 하기 때문이다.

최근 스마트 가전, 스마트 도시, 스마트 자동차, 스마트 선박, 4차산업 등의 산업에 대한 관심이 높아지면서 미국, 유럽, 일본 등 세계 여러 나라에서 관련 산업 발전을 위

한 연구 개발도 활발해지고 있다.<sup>1-3)</sup> 이들 산업은 미래 국가경제 발전에 중요한 산업으로 관련 기술로는 센서, 신호처리 등 반도체기술, 제어등 소프트웨어기술 등이 필요하며, 이중에서 센서기술이 중요한 역할을 한다.

센서는 8, 90년대에도 연구는 이루어졌지만, 2000년 이후 USN (ubiquitous sensor network)산업이 나타나면서 센서에 대한 관심이 증가하기 시작되었고, 이후 IoT (사물인터넷, Internet of Things)로 이어지면서 센서기술의 중요성이 점점 더 강조되고 있다.<sup>4)</sup> 현대 사회에서 센서는 가정, 의료, 환경, 국방, 로봇, 자동차, 조선 등 전 산업 분야에서 필요 기술로 자리를 잡고 있고, 센서시장규모는 점점 커지고 있다.<sup>5-10)</sup> 하지만 우리나라의 센서기술은 미국, 일본 등의 선진국 기술에 비해 뒤쳐져 있으므로 센서 기술개발이 필요하다.

요즘, 스마트 팩토리에 대한 관심이 증가하면서 생산 공장이나 제조 기업에서는 생산효율을 높이고 수율증가와 제조 단가를 저렴하기 위해 제조장비의 고성능화 가

<sup>†</sup>Corresponding author  
E-mail: eskim@bufs.ac.kr

© 2019, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

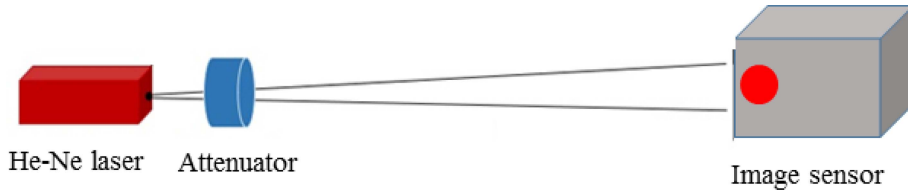


Fig. 1. 실험 개략도.

요구되고 있다.<sup>11,12)</sup> 이를 위해 제조 장비에서 필요로 하는 센서의 종류도 다양해지고, 성능요구조건도 다양해지고 있다.

제조공장 등 산업계에서 많이 사용되고 있는 센서는 온도센서, 압력센서, 가속도센서, 변위센서 등이다.<sup>13, 14)</sup> 이들 센서를 구현하기 위해서는 전자를 이용하는 방법과 광을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 광은 전자파의 일종이므로 전자를 이용하는 것 보다 광을 이용하면 여러 가지 장점이 있다. 특히 레이저는 형광등이나 백열등에 비해 진직성, 단색, 코히어런스 특성이 좋아 센서로 사용하기 유리한 점이 있다. 광을 이용하면 무접촉, EMI특성, 정밀성 등이 좋아 제조업에 필요한 센서 요구조건을 만족시킬 수 있다. 제조업체에서 시작품이나 부품을 제작하기 위해서 사용하는 대형공작기계나 최근에 단시간에 복잡한 구조를 쉽게 제작할 수 있는 3D프린터에서는 장비의 편평도와 진직도가 매우 중요하다. 그래서 제조공장에서 많이 요구되고 있지만, 진직도 센서가 장착된 공작기계는 거의 없는 상태이다. 진직도를 측정하기 위한 방법으로는 접촉식과 비접촉식이 있다. 접촉식의 방법으로는 수준기를 이용하는 방법과 전자식을 이용하는 방법이 있으며, 접촉식 센서는 측정면과 접촉되어야 하기 때문에 측정표면에 손상을 줄 수도 있고, 노이즈 발생 가능성이 높은 단점이 있다. 비접촉식은 직접 측정면과 접촉되지 않으므로 측정면에 손상을 주지 않는다는 장점이 있다. 일반적으로 비접촉식 측정방법은 광학을 이용하여 측정되고 있으며, 이들 장비의 가격이 비싼 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 고가 장비를 대체할 수 있는 저가의 센서시스템을 개발하기 위해 레이저와 이미지센서를 사용하여 공작기계, 3D 프린터에서 필요로 하는 진직도 센서를 개발하였다.

## 2. 측정 원리

대형선반이나 공작기계를 이용하여 고 정밀도의 제품을 제작하기 위해서는 장비의 진직도가 매우 중요하다. 하지만 현재 진직도와 편평도를 측정 할 수 있는 장치가 설치된 제조 공정장비는 거의 없는 상황이다. 또한 이를 정밀하게 측정하는 센서장비는 대부분이 광학적 간섭현상을 이용한 장비로 고가인 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 저가로 쉽게 진직도를 측정할 수 있는 센서를 개

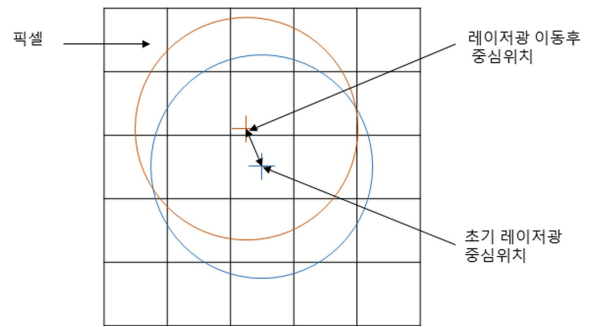


Fig. 2. 초기 광 이미지와 이동된 광 이미지의 중심 위치 변화 측정.

발하기 위해 레이저와 이미지센서를 사용하였다. 진직도 측정시스템 제작을 위해 사용된 광원은 He-Ne laser (파장 632.8 nm)의 가시광영역의 광을 이용하므로 육안으로도 쉽게 관찰 할 수 있다. 광을 인식하기 위한 수광소자로는 200만화소의 CMOS 이미지 센서를 사용하였으며, 수광소자의 크기는 1/2.7"이다. 진직도를 측정하기 위해 광원과 수광소자의 위치가 중요하므로, 본 논문에서는 광원과 수광소자를 반대편에 설치할 하여 레이저 광이 수광소자에 직접 입사되도록 하였다. 만약 송신부인 광원과 수신부인 수광소자가 같은 방향에 있다면 송신부에서 나온 광을 수신부로 보내기 위해 반사경을 송신기 반대편에 설치하여야 하므로 설치도 까다롭고 광정렬이 어려울 수 있는 단점이 있기 때문이다. 광원과 수광 소자간의 간격 쉽게 조정할 수 있는데, 이유는 모든 종류의 공작기계에 적용 가능한 센서시스템을 위해서는 공작기계의 크기에 따라 진직도 측정을 위한 광원과 수광소자간의 간격도 다르기 때문이다. 진직도 센서는 요즘 많은 주목을 받고 있는 3D 프린터에도 적용할 수 있어 응용분야는 매우 넓어 질 것이다. 센서의 측정 원리는 레이저에서 나온 광이 수광소자에 입사되는 빔의 위치변화를 측정하여 직진도 변화를 알 수 있다. 만약 진직도 변화가 없으면 수광소자내의 빔의 위치도 변화없지만, 진직도에 변화가 있으면 수광소자 내의 레이저 빔 위치가 달라지게 되므로 진직도 변화를 알 수 있다. 따라서 진직도를 측정하기 위해 Fig. 1과 같이 송신부인 광원과 수신부인 이미지 센서를 반대편 위치에 설치하여 레이저에서 나온 광이 바로 CMOS 이미지 센서에 입사되도록 하였다. 광원과 수광소자의 거리는 조절할 수 있으며, 수광소자에 입사되는 빔 경은 2 mm로 하였다. 초기의 레이저 빔은 수광소자의 중

심에 위치하도록 하였다. Fig. 2는 CMOS 이미지 센서에서 수신된 아날로그 영상신호를 LabVIEW의 비전모듈을 이용하여 디지털신호로 변환하여 미세변화를 측정하는 원리를 설명한 것이다. Fig. 2에서 첫 번째 이미지는 초기 레이저광 이미지와 광의 중심위치를 나타내고 있으며, 두 번째 이미지는 진직도에 변화가 생기면 레이저 광의 위치가 움직이게 되어 광의 중심위치가 변화되었음을 나타낸다. 이들 두 이미지의 중심위치 변화를 측정함으로써 진직도 변화를 알 수 있게 된다.

### 3. 실험 및 결과

요즘 많은 주목을 받고 있는 3D 프린터 및 대형 공작기계의 제작 정밀도 향상을 위해서는 제작공정의 에러를 줄이는 것이 필요하며, 이를 위해 여러 종류의 센서가 요구되고 있다. 하지만 현재 공작기계에서 중요한 요소이지만 적용이 많이 되어 있지 않은 진직도센서를 개발하기 위해 가시영역의 레이저와 CMOS 이미지 센서를 사용하였다.

공작기계 등을 이용하여 제품을 제작할 때, 측정시스템도 제품과 같은 환경에 있도록 하여 측정 에러를 줄이는 것이 중요하다. 광을 이용하여 진직도를 측정하기 위해 사용된 송신부와 수신부가 같은 위치에 있다면, 송신부에서 나온 광을 수신부로 다시 보내기 위한 반사경을 송신부 반대편에 설치하여야 한다. 이렇게 센서시스템을 구성하게 될 경우, 에러 발생 가능성도 높고, 광정렬도 어려운 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 송신부인 광원과 수신부인 이미지 센서를 반대편 위치에 설치하여 레이저에서 나온 광이 바로 이미지 센서에 입사되도록 하였다. 또한 공정 장비위에 쉽게 설치 할 수도 있고, 또 반사경이 필요 없게 되어 비용이나 유지관리에도 유리한 장점이 있다.

진직도 변화를 측정하기 위해 Fig. 3과 같이 레이저를 xyz 스테이지 위에 고정하였고, 마이크로미터 게이지로 레이저를 상하좌우로 미세하게 움직일 수 있도록 하였다. 반면 수광소자인 이미지 센서는 고정 폴대에 고정하였고, 레이저 광이 이미지센서 중앙부에 입사되도록 정렬하였다. 레이저광 파워는 5mW로 이미지센서에 직접 입사되면 이미지센서에 손상을 줄 수도 있어서, 이미지 센서에 입사되는 광강도를 조절할 수 있는 광감쇄기 (attenuator)를 사용하였다. 광원과 이미지 센서의 거리는 3m로 하여 실험하였다.

이미지센서에서 수집된 데이터는 LabVIEW를 이용하여 영상을 처리하였다. IMAQ에서 이미지센서의 신호를 수집하여 LabVIEW의 비전모듈을 이용하여 영상데이터를 수집한다. 수집된 영상데이터에서 적색 광의 신호를 검출한다.

Fig. 4는 레이저 광 영상 획득과 에지검출 등 이미지처리 결과를 보여주고 있다. 레이저로부터 CMOS 이미지센

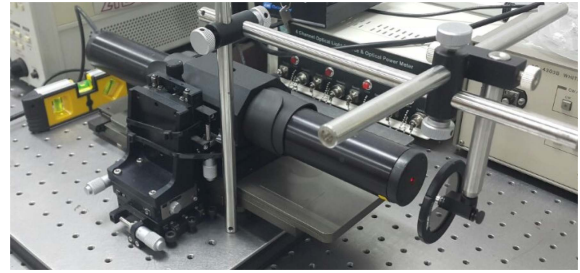


Fig. 3. 진직도 측정위한 송신부.

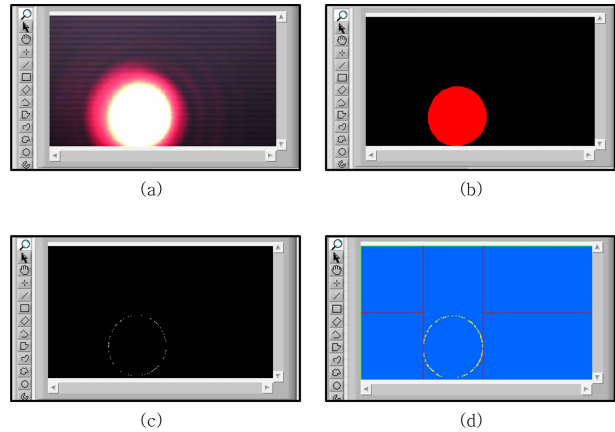


Fig. 4. 이미지센서에 입사된 레이저 광 검출 결과. (a) 원본 영상, (b) 광강도 검출 후 영상, (c) 에지 검출 결과 영상, (d) 레이저 광의 빔경과 중심좌표 추출 영상.

서에 조사된 적색광의 원본 이미지는 Fig. 4(a)와 같다. 이 원본 이미지에서 에지를 검출하기 위해서 이미지센서의 각 픽셀에서 광 강도를 검출한다. 이미지센서에 입사되는 광의 광도는 빔 중심에서 가장 강하고 가장자리로 갈수록 광 강도가 약하게 분포한다. 그러므로 가장자리의 약한 광은 무시하고 일정 값 이상되는 광 강도만을 검출하여 처리하면 Fig. 4(b)와 같이 선명한 영상을 얻을 수 있다. Fig. 4(b)와 같이 추출된 영상에서 레이저 광의 에지검출 결과는 Fig. 4(c)와 같고, Fig. 4(d)에서 이미지센서에 입사된 레이저 광의 빔경과 중심좌표를 계산 할 수 있다.

개발된 센서시스템의 진직도 변화를 측정하기 위해서 xyz 스테이지 위에 고정된 레이저를 미세하게 움직여 가면서 측정하였다. xyz 스테이지의 마이크로 게이지로 광원을 움직이면 반대편에 있는 이미지센서에 입사되는 광의 위치가 변하게 된다. Fig. 5(a)는 xyz 스테이지에 고정된 레이저로부터 이미지 센서에 입사된 레이저 광영상이며, Fig. 5(b)는 xyz 스테이지위에 있는 레이저를 조금 이동시킨 후 검출된 레이저 광영상이다. 진직도 측정은 Fig. 2와 같이 우선 첫 번째 레이저광 영상 획득과 에지검출을 통해 중심좌표를 계산하고, 다음의 레이저 광 이미지를 검출하여 동일한 방법으로 계산된 레이저 광의 중심좌표값과 비교하여 진직도 변화를 판별할 수 있다. 중심



Fig. 5. (a) 레이저 이동 전의 이미지센서에 입사된 광영상 (b) 레이저 이동 후의 이미지센서에 입사된 광영상.

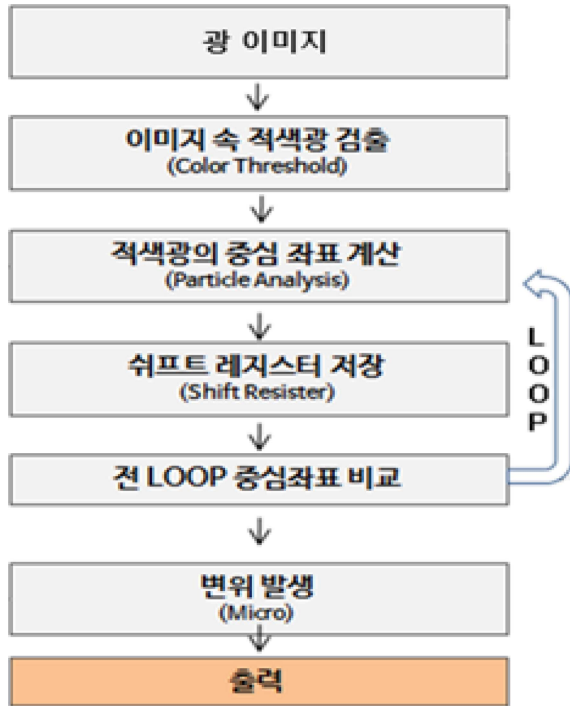


Fig. 6. 진직도 측정 알고리즘.

값 변화가 없으면 진직도 변화가 없다는 것을 의미한다. 만약 중심값 차이가 있다면 장비에서 진직도 변화가 발생되었음을 알 수 있으므로 진직도 변화가 없도록 장비를 제어할 수 있어 공정정밀도를 높일 수 있고, 생산성을 향상시킬 수 있다. 레이저 광을 이용한 진직도 측정 알고리즘은 Fig. 6과 같다.

Table 1은 레이저와 CMOS 이미지센서를 정렬시키고, 레이저와 이미지센서 사이 거리는 3m로 하여 xyz 스테이지를 이용하여 레이저를 한 방향으로만 1000  $\mu\text{m}$ , 2000  $\mu\text{m}$ , 3000  $\mu\text{m}$ 로 이동시키면서 이미지센서를 이용하여 진직도 변화를 5회 측정된 결과를 보여주고 있다. 측정된 결과에서부터 알 수 있듯이, 본 논문에서 개발한 진직도 측정시스템의 오차는 1000  $\mu\text{m}$  이동시 최대 2.8%의 오차를 보였으며, 2000  $\mu\text{m}$  이동에 대해서도 최대 1.4%의 오차를 보였으며, 3000  $\mu\text{m}$  이동시 최대 0.9% 오차를 나타내었다. 레이저와 이미지 센서사이 거리를 3 m보다 작

Table 1. 레이저 이동변위에 대한 진직도 측정 결과.

레이저 변위 ( $\mu\text{m}$ )	1000	2000	3000
1	978	2028	2973
2	981	2004	2988
3	1011	2001	3003
4	972	2007	2979
5	1011	1998	2979

게 하여 실험한 결과도 비슷하였고, 레이저 변위를 1000  $\mu\text{m}$  보다 작은 수십  $\mu\text{m}$ 로 한 경우는 오차가 조금 크게 되었고, 1000  $\mu\text{m}$  보다 크게 이동하게 되면 오차는 더 작게 측정되어, 본 연구에서 개발한 진직도 측정시스템은 기존의 공작기계 등과 같은 장비에 쉽게 설치하여 사용할 수 있으며, 3D 프린터에도 적용가능 할 것으로 생각한다.

#### 4. 결 론

최근에 IoT와 4차 산업의 영향으로 많은 주목을 받고 있으며, 시장규모가 더 커질 것으로 예상되는 3D프린터나 대형공작기계의 성능을 향상시키기 위해 필요한 진직도 측정시스템을 레이저와 CMOS 이미지센서를 이용하여 개발하였다.

LabVIEW의 비전모듈을 이용하여 이미지센서에 입사된 레이저 광의 영상을 획득하여 에지검출법으로 레이저 광 영상의 중심을 계산하여 공정장비가 이동하면서 변화되는 진직도 변화를 측정할 수 있다. 본 연구에서 개발한 진직도 측정시스템의 오차는 레이저와 이미지센서 간격이 3m이고 레이저 변위가 3000  $\mu\text{m}$  발생 했을 때 0.9%로 측정되어 장비의 진직도 평가에 사용 될 수 있음을 확인하였다. 이렇게 개발된 진직도 측정시스템은 기존의 레이저 간섭계를 이용한 진직도 측정시스템보다 저가로 쉽게 구성 할 수 있으며, 기존 공정 장비에 쉽게 설치하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한 본 기술을 이용하면 편평도 측정 등 다른 응용분야에도 적용 할 수 있을 것으로 생각한다.

#### 감사의 글

This work was supported by the research grant of the Busan University of Foreign Studies in 2017 and the author would like to thank K. H. Park for helping with the experiment.

#### References

1. J. S. Kim and S. J. Min, "ICT-based solution for urban traffic

- problems: Focusing on IT Solutions and Smart Car introduction (in Korean)", ETRI Insight Report, 2018-11 (2018).
2. K. S. Lee, "Trend of core technologies of 4th Industrial Revolution (in Korean)", KESSIA Issue Report, 2017-3, 5 (2017).
  3. T. H. Lee, E. S. Kim, T. H. Kim, and M. Y. Jeong, "Simple pressure sensor for a vehicle seat using a woven polymer optical-fiber sheet", *Journal of the Korean Physical Society*, 67(11), 1947 (2015).
  4. S. Li, L. D. Xu, and S. Zhao, "The internet of things: a survey", *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243 (2015).
  5. TSensor Summit for Trillion Sensor Roadmap from [www.TSensorsummit.org](http://www.TSensorsummit.org).
  6. S. Dou, N. Lindsey, A. M. Wagner, T. M. Daley, B. Freifeld, M. Robertson, J. Peterson, C. Ulrich, E. R. Martin, and J. B. Ajo-Franklin, "Distributed Acoustic Sensing for Seismic Monitoring of The Near Surface: A Traffic-Noise Interferometry Case Study", *Scientific Reports*, 7, 11620 (2017).
  7. T. Yasui, T. Yanagida, S. Ito, Y. Konakade, D. Takeshita, T. Naganawa, K. Nagashima, T. Shimada, N. Kaji, Y. Nakamura, I. A. Thiodorus, Y. He, S. Rahong, M. Kanai, H. Yukawa, T. Ochiya, T. Kawai, and Y. Baba, "Unveiling massive numbers of cancer-related urinary-microRNA candidates via nanowires", *Sci. Adv.*, e1701133 (2017).
  8. K. H. Jo, G. J. Lyu, and E. S. Kim, "Small Methane Detection System using Optical Spectrum Characteristics (in Korean)", *J. Seosor Science and Technology*, 20(1), 53 (2011).
  9. S.-W. Kim, J.-S. Lee, S.-W. Lee, B.-H. Kang, J.-B. Kwon, O.-S. Kim, J.-S. Kim, E.-S. Kim, D.-H. Kwon, and S.-W. Kang, "Easy-to-Fabricate and High-Sensitivity LSPR Type Specific Protein Detection Sensor Using AAO Nano-Pore Size Control", *Sensors*, 17(4), 856 (2017).
  10. J.-H. Oh, H.-R. Shin, S.-J. Lee, S.-R. Kim, J.-H. Yoo, and J.-W. Park, "Wearable Resistive Strain Sensor Networked by Wireless Data Transfer System (in Korean)", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 25(3), 43 (2018).
  11. H. J. Cho and Y. K. Kim, "Trend of Smart Factory Technology", *Weekly ICT Trends*, 1849, 15 (2018).
  12. E. J. Park, D. I. Kwon, and Y. K. Sa, "Reliability Assessment and Prediction of Solder Joints in High Temperature Heaters (in Korean)", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 24(2), 23 (2017).
  13. J.-W. Lee, K.-H. Jo, K.-H. Park, and E.-S. Kim, "Pressure Measurement System Using Optical Fiber Sensor," 2015 Conference KMMS, 499 (2015).
  14. Z. Zhou, Z. Wang, and L. Shao, "Fiber-Reinforced Polymer-Packaged Optical Fiber Bragg Grating Strain Sensors for Infrastructures under Harsh Environment", *Journal of Sensors*, 2016, 3953750 (2016).