

## 평면 구조물의 단일점 일치를 이용한 2 차원 레이저 거리감지센서의 자동 캘리브레이션

### Autonomous Calibration of a 2D Laser Displacement Sensor by Matching a Single Point on a Flat Structure

정지훈\*, 강태선, 신현호, 김수종  
(Ji Hoon Jung<sup>1,\*</sup>, Tae-Sun Kang<sup>1</sup>, Hyeon-Ho Shin<sup>1</sup>, and SooJong Kim<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Robotics Research Department of Engine & Machinery Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

**Abstract:** In this paper, we introduce an autonomous calibration method for a 2D laser displacement sensor (e.g. laser vision sensor and laser range finder) by matching a single point on a flat structure. Many arc welding robots install a 2D laser displacement sensor to expand their application by recognizing their environment (e.g. base metal and seam). In such systems, sensing data should be transformed to the robot's coordinates, and the geometric relation (i.e. rotation and translation) between the robot's coordinates and sensor coordinates should be known for the transformation. Calibration means the inference process of geometric relation between the sensor and robot. Generally, the matching of more than 3 points is required to infer the geometric relation. However, we introduce a novel method to calibrate using only 1 point matching and use a specific flat structure (i.e. circular hole) which enables us to find the geometric relation with a single point matching. We make the rotation component of the calibration results as a constant to use only a single point by moving a robot to a specific pose. The flat structure can be installed easily in a manufacturing site, because the structure does not have a volume (i.e. almost 2D structure). The calibration process is fully autonomous and does not need any manual operation. A robot which installed the sensor moves to the specific pose by sensing features of the circular hole such as length of chord and center position of the chord. We show the precision of the proposed method by performing repetitive experiments in various situations. Furthermore, we applied the result of the proposed method to sensor based seam tracking with a robot, and report the difference of the robot's TCP (Tool Center Point) trajectory. This experiment shows that the proposed method ensures precision.

**Keywords:** 2D laser displacement sensor, LVS (Laser Vision Sensor), LRF (Laser Range Finder), calibration

#### 1. 서론

현재 산업 현장에서 작업 환경 개선 및 생산성 향상을 목적으로 산업용 로봇 사용이 증가하는 추세이고, 특히 단순 반복 작업이나 인간이 직접 수행하기 힘들고 위험한 작업에 로봇 사용이 급증하고 있다. 이와 같은 로봇이 용접이나 조립 등의 할당된 작업을 수행하기 위해서는 툴 끝(TCP: Tool Center Point)을 작업 대상물의 위치로 이동해야 한다. 하지만 로봇은 스스로 작업 대상물의 위치를 알 수 없으므로, 작업 대상물을 고정된 위치로 이동시킨 후에 로봇이 수행할 동작을 기록해 놓고 이를 반복하는 방법으로 로봇이 사용되고 있다. 이러한 경우 로봇과 작업 대상물과의 위치관계가 고정적이어야 하기 때문에 작업물의 위치가 고정되지 않는 환경에서는 로봇 사용이 제한되고, 성능이 낮아지는 문제점이 있다.

이러한 한계를 극복하기 위해 최근 로봇에 2차원 레이저 거리감지 센서를 사용하여 작업 대상물을 인식하는 연구와 개발이 활발히 진행 중이며, 아크 용접에서는 용접선 추적 [6,9]과 용접 결과 검사 [7,10] 등에 적용되고 있다. 이러한 시스템에서 센서로 인식한 작업 대상물의 위치를 로봇의 툴 끝 기준의 위치로 변환하는 과정이 필수적이고, 이 과정은 로봇 좌표계나 로봇의 툴 끝 좌표계와 센서 좌표계 사이의 위치와

자세 관계를 추정하는 캘리브레이션 과정이 필수적이다. 이 캘리브레이션은 작업 중 로봇의 충돌 또는 진동, 사용자의 조정 등에 의해 센서의 설치 위치가 변경될 경우에도 이러한 위치 변화를 보정하기 위해 빈번히 수행해야 하는 필수적인 과정이다.

$$P_s = R \cdot P_r + T \quad (1)$$

식 (1)은 센서 좌표계 기준의 좌표( $P_s$ )를 로봇 좌표계 기준의 좌표( $P_r$ )로 변환하는 식이며, 회전행렬( $R$ )과 병진벡터( $T$ )는 캘리브레이션 결과로 얻을 수 있는 변수이다. 카메라 센서는 [5]와 같이 크기가 주어진 격자패턴이 그려진 평면을 이용하여 위치관계를 추정하지만, 2차원 레이저 거리감지센서는 고정된 위치에서 측정한 점들은 동일선상에 있기 때문에 [5]와 같은 위치관계의 추정이 불가능하다. 그렇기 때문에 3차원 위치를 정확히 알고 있는 다수의 기준점을 센서로 감지할 수 있게 사용자가 로봇을 이동시키는 수동 캘리브레이션 방법을 사용하는 것이 일반적이었다.

수동 캘리브레이션 외에 특별한 구조물을 이용하는 방법들에 대한 연구도 지속적으로 진행되어 왔다. 그 중 [1]은 입체 원형 지그를 사용하여 두 좌표계의 위치관계와 로봇의 파라미터를 추정한다. 하지만 이 방법은 자동화에 적합하지 않고, 입체 구조물이라 실제 산업현장 설치에 한계가 있다. [2]는 삼각 기둥의 입체 구조물을 사용하여 캘리브레이션을 수행하고, [3]은 직육면체에 홀을 낸 입체 구조물을 사용한 캘

\* Corresponding Author

Manuscript received August 2, 2013 / revised December 9, 2013 / accepted December 11, 2013

정지훈, 강태선, 신현호, 김수종: 현대중공업 엔진기계연구소  
(jihyoung@hhi.co.kr/tskang@hhi.co.kr/goofday@hhi.co.kr/soojong@hhi.co.kr)

리브레이션 방법을 제안하였다. 하지만 상기 방법들은 캘리브레이션을 위해 특정 위치를 검출하고, 이동하는 방법의 제시가 없어 캘리브레이션의 자동화에 적합하지 않으며, 작업 환경에 추가적인 입체 구조물을 설치하여 주변 기구들과 간섭 등의 영향을 반드시 고려해야 한다는 단점이 있다. 또한 [8]은 격자패턴이 그려진 평면을 이용하여 카메라와 2차원 레이저 거리감지센서의 캘리브레이션 방법을 제안한다. 이는 측정 가능한 위치에 별도의 카메라를 설치하여 2차원 레이저 거리감지센서의 위치를 추정할 수 있지만, 설치된 카메라의 위치 측정 오차와 캘리브레이션의 오차가 누적되어 정확도가 낮아질 수 있다. 또한 정확히 측정 가능한 위치에 카메라를 설치해야 한다는 점에서 실제 산업 현장에 적용되어 빈번히 캘리브레이션을 수행하는 것이 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 사용자의 조작에 의존하고, 다수의 기준점을 필요로 하며, 입체 구조물을 사용해야 하는 기존 방법의 제약을 개선하여 한 개의 기준점과 작업 환경에 설치하기 쉬운 평면 구조물을 이용하며 사용자의 인위적인 조작이 필요 없이 자동적으로 캘리브레이션 하는 방법을 제안한다. 이러한 장점을 지닌 캘리브레이션을 위해 하나의 기준점을 특정 자세로 감지할 수 있는 위치로 자동 이동하여 식 (1)의 회전행렬을 상수로 만드는 방법을 제안한다. 회전행렬이 상수가 될 경우 나머지 캘리브레이션 결과인 병진벡터는 하나의 기준점 매칭으로 추정 가능하므로 결과적으로 한 점의 일치만을 이용하여 캘리브레이션을 수행할 수 있다.

본 논문의 II에서는 캘리브레이션 결과 중 회전행렬을 상수화하기 위한 자세와 평면 구조물에 대한 설명을 할 것이다. III 장에서는 II 장에서 설명한 방법에 대한 구체적인 캘리브레이션 과정에 대해 설명할 것이고 마지막 IV 장에서는 캘리브레이션의 실험 결과에 대해 설명할 것이다.

## II. 회전행렬 상수화

본 논문에서는 캘리브레이션을 위해 그림 1과 같이 작업 환경에서 흔히 볼 수 있는 원형 홀(hole)을 사용하여 로봇 좌표계 기준 홀의 중심( $P_r$ )과 센서 좌표계 기준 홀의 중심( $P_s$ )을 매칭하여 캘리브레이션을 수행한다. 로봇 좌표계 기준 홀의 중심 좌표는 로봇 툴 끝을 홀의 중심으로 이동하여 얻을 수 있으며, 센서 좌표계 기준 홀의 중심 위치는 센서가 감지한 원형 구조물의 현 길이와 현의 중심 위치를 이용하여 측정가

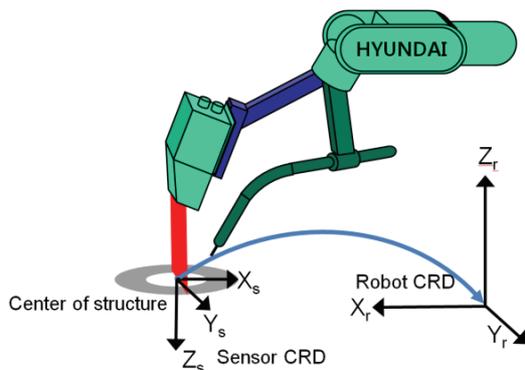


그림 1. 로봇 좌표계와 센서 좌표계의 위치 관계.  
Fig. 1. Geometric relation between robot and sensor.

능하다.

서론에서 설명한 것과 같이 캘리브레이션 결과 중 회전행렬을 상수로 만들기 위해 로봇 좌표계와 센서 좌표계 사이에 그림 1과 같은 관계가 있는 자세를 취하게 한다. 그림 1의 두 좌표계는 회전성분만 고려했을 때  $Rot(x,0) Rot(y,\pi) Rot(z,0)$ 의 관계를 가지고 있다. 이런 관계에서 로봇이  $Z_r$ 축 방향으로 이동할 때 센서로 감지한 원형 구조물 현의 중심과 길이는 변화가 없다. 또한  $X_r$ 축 방향으로 이동할 때 센서로 감지한 원형 홀의 중심에 변화가 없다. 하지만 그림 1과 같은 관계가 아닌  $Rot(x,\psi) Rot(y,\theta) Rot(z,\phi)$  관계에 있을 경우 정합되지 않은 축에 따라 아래와 같은 변화를 감지할 수 있다.

- 1)  $X_r$ 축: 로봇  $Z_r$ 축 이동 시 현의 중심 위치 변화
- 2)  $Y_r$ 축: 로봇  $Z_r$ 축 이동 시 현의 길이 변화
- 3)  $Z_r$ 축: 로봇  $X_r$ 축 이동 시 현의 중심 위치 변화

본 논문에서는 센서가 홀의 현을 감지하는 위치에서 로봇을  $Z_r$ 축과  $X_r$ 축으로 이동시키며 위에서 제시한 3가지 변화를 측정하여 두 좌표계 사이의 관계가 그림 1과 같게 되도록 각 축 별 보정량( $\psi, \theta, \phi$ )을 계산하여 회전시키는 방법을 제안한다. 각 축을 보정한 후에는 센서가 원형 홀의 중심을 감지하도록 로봇을 이동시켜 두 좌표계 사이의 병진벡터 성분을 구하여 캘리브레이션을 완료한다.

## III. 축 별 보정량 계산

II 장에서 설명한 바와 같이 두 좌표계가 원하는 관계에 위치하고 있지 않을 경우 로봇 이동에 따라 감지되는 원형 구조물 현의 중심과 길이가 축 별 보정량( $\psi, \theta, \phi$ )에 따라 변화한다. III 장에서는 로봇 이동에 따라 감지되는 원형 홀의 특징 변화를 모델링 하여 보정하고자 하는 각도를 구하는 방법을 제시한다. 그림 2-4는 각 축별 보정 모델로 로봇 좌표계와 센서 좌표계 사이에 보정이 필요할 경우 계산 가능한 물리량(로봇 이동량, 센서 측정량)과 각 축의 보정 각도의 관계를 나타낼 수 있다. 보정은 로봇을  $X_r$ 축으로 이동시켜 얻은 데이터로  $Z_r$ 축을 보정 한 후, 로봇을  $Z_r$ 축으로 이동시켜 얻은 데이터로  $X_r, Y_r$ 축을 보정하는 과정을 거친다.

### 1. Rz 보정

그림 2는 로봇의 이동과 감지되는 현의 중심 변화의 관계를  $X_r, Y_r$  평면에 사영한 것이다. 그림 2(a)와 같이 두 좌표계의  $Z_r$ 축 사이에 보정할 각도가 없을 경우 로봇이  $X_r$ 축 방향으로 이동할 때 센서로 감지되는 현의 중심은 변화가 없다. 하지만 그림 2(b)와 같이 보정할 각도가 있을 경우 센서로 감

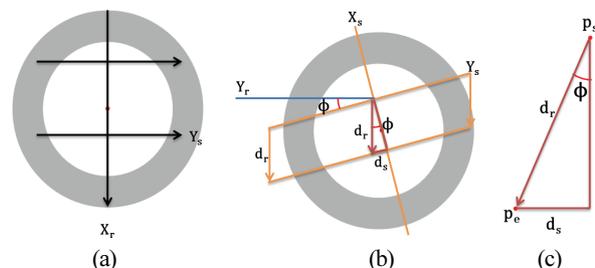


그림 2. Rz 보정각도의 계산을 위한 모델링.  
Fig. 2. Modeling for computation of Rz compensation.

지되는 현의 중심에 변화가 발생한다. 이 때 보정 각도( $\phi$ )는 센서로 측정 가능한 값인 식 (3)의  $d_s$ 를 이용하여, 그림 2(c)와 같이 모델링 가능하다. 그림 2(c)의  $P_s$ 는 이동 시작 점이고,  $P_e$ 는 이동 종료 점이다. 두 위치는 로봇의 툴 끝 위치로 구할 수 있으며, 식 (3)을 통해 로봇 이동량( $d_r$ )을 계산할 수 있다. 또한  $P_s$ 에서 검지된 현의 중심 위치와  $P_e$ 에서 검지된 현의 중심 위치의 차이를 통해 중심 변화량( $d_c$ )을 구할 수 있다. 이럴 경우 보정 각도는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\phi = \sin^{-1}\left(\frac{d_r}{d_s}\right) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} d_r &= \|P_e - P_s\| \\ d_s &= \|C_e - C_s\| \end{aligned} \quad (3)$$

## 2. Rx 보정

그림 3은 로봇의 이동과 감지되는 현의 중심 변화량의 관계를  $Y, Z_r$  평면에 사영한 것이다. 그림 3(a)와 같이 Rx의 보정량이 있을 경우 로봇이  $Z_r$ 로 이동할 때 센서로 감지되는 현의 중심 위치가 변화한다. 이 때 로봇의 이동량과 센서로 감지한 현의 중심 위치를 이용하여 그림 3(b)와 같이 모델링 가능하다.  $C_s$ 는  $P_s$ 에서 센서가 감지한 현의 중심 위치,  $C_e$ 는  $P_e$ 에서 현의 중심 위치이고 각각 높이에 해당하는 Z축 좌표와 좌우에 해당하는 Y축 좌표를 갖는다.  $d_r$ ,  $d_s$ 는 로봇의 이동량과 현의 중심 위치 변화량으로 식 (3)과 같이 계산할 수 있다. 이 때 보정각도( $\psi$ )는 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{d_s}{d_r}\right) \quad (4)$$

## 3. Ry 보정

그림 4는 로봇의 이동과 감지되는 길이의 변화량의 관계를  $X, Z_r$  평면에 사영한 것이다. 그림 4(a)와 같이 Ry의 보정량이 있을 경우 로봇이  $Z_r$ 로 이동할 때 센서로 감지되는 원형 구조물의 현의 길이가 변화한다. 그림 4(b)는 (a)를 단순화하여 모델링 한 것으로 보정각도( $\theta$ )는 그림 4(b)에서와 같이 로봇 이동량과 2차원 레이저 거리감지센서 스캔 라인의 이동량을 이용하여 식 (5)로 구할 수 있다.

$$\theta = \left| \tan^{-1}\left(\frac{d_c}{d_r}\right) \right| \quad (5)$$

로봇이  $Z_r$ 로 이동할 때 원형 구조물 위에 출력되는 2차원

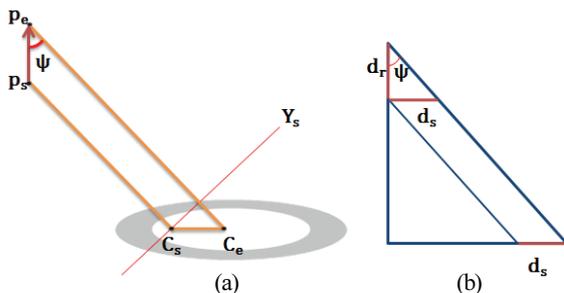


그림 3. Rx 보정각도의 계산을 위한 모델링.

Fig. 3. Modeling for computation of Rx compensation.

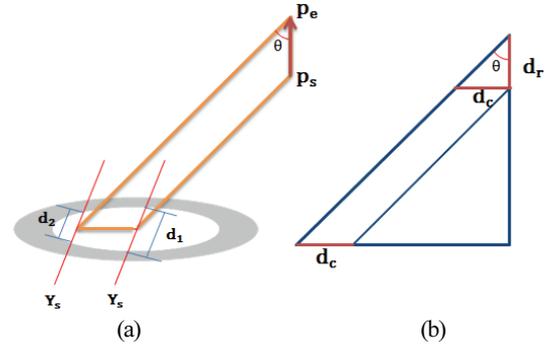


그림 4. Ry 보정각도의 계산을 위한 모델링.

Fig. 4. Modeling for computation of Ry compensation.

레이저 거리감지센서의 레이저 스캔 라인은 그림 4(a)의  $d_1$ 과  $d_2$ 의 현을 그리며 이동한다. 식 (5)의  $d_c$ 는 로봇이 이동할 때 변화하는 2차원 레이저 거리감지센서의 레이저 스캔 라인이 원형 구조물의 지름을 경유할 때(그림 5(a))와 경유하지 않을 때(그림 5(b))로 구분하여 모델링 될 수 있으며, 각각 경우의  $d_c$ 는 식 (6), (7)과 같다.

$$\begin{aligned} d_c &= C_1 + C_2 \\ &= \sqrt{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_1}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_2}{2}\right)^2} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} d_c &= (C_1 + C_2) - C_2 = C_1 \\ &= \sqrt{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_1}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_2}{2}\right)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

$d_0$ 는 원형 홀의 지름 길이를 가리킨다. 지름의 경유 여부는 로봇이  $Z_r$ 로 이동할 때 지속적으로 현 길이를 측정하여 판단한다. 측정된 현의 길이가 증가하여  $d_0$ 에 가까운 값에 도달한 후 감소하면 경유하는 것으로 그렇지 않으면 경유하지 않는 것으로 판단할 수 있다.

## IV. 실험 결과

### 1. 실험환경

본 논문에서 실험을 위해 2차원 레이저 거리감지 센서로 LVS를 사용하였다. 실험에 사용된 센서는 MetaVision사의 MT10-15(그림 6, [4])로 15mm의 FOV (Field of View)와 65mm의 stand off를 가지고 있다. 이 LVS를 현대중공업 Arc 소형 로봇 HA-006에 그림 6과 같이 설치하여 제한한 방법의 우수함을 증명하기 위한 실험을 진행하였다.

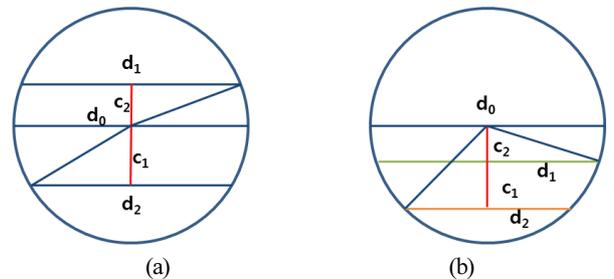


그림 5.  $d_s$  추정을 위한 2가지 모델.

Fig. 5. Two types of models for estimating  $d_s$ .

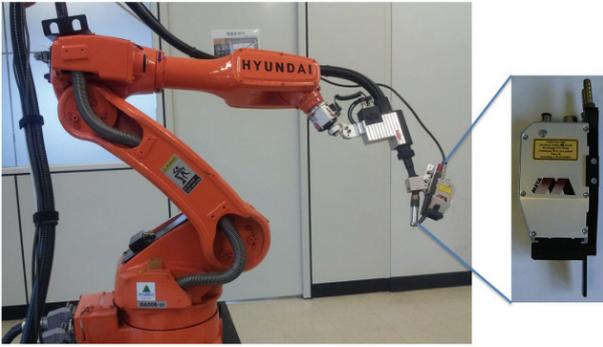


그림 6. 실험에 사용된 현대중공업 소형 로봇과 LVS.  
Fig. 6. Hyundai Robot and LVS for experiment.

2. 오차 측정을 위한 반복 실험

그림 7은 본 논문에서 제안한 방법을 20회 반복 수행하여 얻은 캘리브레이션 오차 결과이다. 결과의 강인성을 위해 보정 각도를 다양하게 변화하여 얻은 결과이다. 캘리브레이션 결과 X, Y, Z축 평균 0.69%의 오차를 보인다. 캘리브레이션 과정에 숙련되지 않은 조작자가 캘리브레이션을 수행했을 경우 평균 0.81%의 오차가 발생하여 미숙련자의 수동 캘리브레이션보다 본 논문에서 제안한 방법이 상대적으로 정확함을 알 수 있었다.

3. 로봇의 용접선 추적 정밀도 실험

그림 8은 제안한 방법으로 캘리브레이션을 수행 후 로봇으로 용접선 추적을 했을 때 툴 끝 위치의 오차에 대한 결과이다. 용접선 추적 시 LVS로 인식한 용접선 위치를 캘리브레이션 결과를 이용하여 로봇 좌표계로 변환 후 로봇을 이동시키기 때문에 제안한 방법이 정확할수록 툴 끝의 오차가 작아진다. LVS 용접선 인식 결과의 노이즈나 로봇의 미세한 진동이 있음에도 불구하고 평균 오차가 0.093mm, 최대 오차가 0.192mm로 정확히 용접선을 추적했다는 것을 알 수 있다.

제안한 방법은 캘리브레이션 과정은 62초가 소요되며, 캘리브레이션에 미숙한 사용자의 수동 조작은 평균 646초가 소요되며, 숙련된 사용자의 경우 평균 189초 소요된다. 이는 캘리브레이션 미숙련자에 비해 약 10배 이상, 숙련된 사용자에게 비해 3배 이상 개선된 시간이다. 결과적으로 제안한 방법이 높은 정확도를 유지하며 빠르게 캘리브레이션이 가능하다는 것을 보여준다.

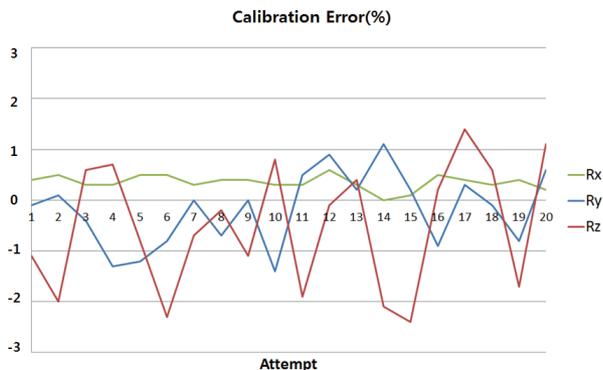


그림 7. 제안한 방법의 캘리브레이션 오차.  
Fig. 7. Calibration error of the proposed method.

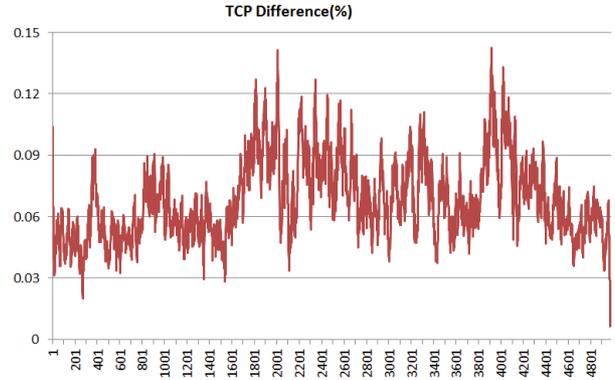


그림 8. 용접선 추적 시 로봇 툴 끝 오차.  
Fig. 8. Error of robot TCP in case of seam tracking.

V. 결론

본 논문에서는 원형 홀의 중심점을 1개의 기준점으로 하여 2 차원 레이저 거리감지센서를 자동으로 캘리브레이션 하는 방법에 대해 제안하였다. 캘리브레이션을 위해 추가적으로 필요한 구조물이 원형의 홀이기 때문에 작업 현장에서 쉽게 찾을 수 있는 구조물이며, 기존 작업 현장에 추가적으로 구조물을 설치할 하더라도 구조물의 볼륨이 거의 없는 2차원 형태이기 때문에 작업 현장의 주변 기기와 간섭이 가능한 장점이 있다. 그리고 원형 구조물 현의 중심과 길이와 같은 특징을 이용하여 사용자의 인위적인 조작 없이 자동으로 캘리브레이션이 가능한 방법을 제안하여 진동이나 충돌 등에 의한 잦은 센서 위치 변화에 민첩하게 대처할 수 있게 한다.

제안한 방법을 다양한 보정 각도에서 반복적으로 실험한 결과를 제시하며 제안한 방법의 높은 정확도와 보정 각도에 대한 강인성을 보였다. 그리고 제안한 방법으로 로봇 좌표계와 센서 좌표계 사이의 기하학적 위치를 추정된 뒤 그 결과를 이용하여 로봇 용접선 추적에 적용한 실험결과를 제시하며 단순 캘리브레이션 결과뿐만 아니라 제안한 방법이 적용된 작업의 정밀도 또한 높음을 실험적으로 증명하였다. 그리고 로봇 조작 미숙련자와 숙련자의 캘리브레이션을 수행 시간과 제안한 방법의 수행 속도를 비교하여 제안한 방법이 사용자 조작이 필요 없음에도 불구하고 수행 속도가 월등히 빠름을 보였다.

결과적으로 제안한 방법은 작업 환경에 제한적이지 않고, 높은 정확도를 만족시키며, 작업자의 조작에 의존하지 않으면서 빠르게 캘리브레이션을 할 수 있도록 한다.

REFERENCES

[1] J. D. Kim, Y. S. Cho, and J. W. Lee, "Virtual space calibration for laser vision sensor using circular jig," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering (in Korean)*, vol. 20, no. 12, pp. 73-79, 2003.

[2] J. W. Jeong and H. J. Kang, "Autonomous sensor center position calibration with linear laser-vision sensor," *International Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, vol. 4. no. 1, pp. 43-48, 2003.

[3] L. Suyi and W. Guorong "Fast calibration for robot welding system with laser vision," *Proc. of the IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*, pp. 706-710, Sep.

- 2008.
- [4] Laser Vision Sensor of Meta Vision MT10-15, <http://www.meta-mvs.com/OperatorManual.pdf>
- [5] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, 2000.
- [6] H. Luo and X. Chen, "Laser visual sensing for seam tracking in robotic arc welding of titanium alloys," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 26, pp. 1012-1017, 2005.
- [7] C. Reichert, "Pre-and post-weld inspection using laser vision," *Non-Destructive Evaluation Techniques for Aging Infrastructure & Manufacturing*. International Society for Optics and Photonics, pp. 244-254, 1998.
- [8] Q. Zhang and R. Pless, "Extrinsic calibration of a camera and laser range finder (improves camera calibration)," *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 3, pp. 2301-2306, 2004.
- [9] J. S. Kim, Y. T. Son, K. S. Cho, and K. I. Koh, "A robust method for vision-based seam tracking in robotic arc welding," *Proceedings of the IEEE International Symposium on. IEEE*, pp. 363-368, 1995.
- [10] W. Huang and R. Kovacevic, "A laser-based vision system for weld quality inspection," *Sensors*, vol. 11.1, pp. 506-521, 2011.



#### 정지훈

2007년 서강대학교 전자공학과 졸업.  
2009년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업.  
2009년~2011년 ETRI 로봇/인지연구부.  
현재 현대중공업(주) 엔진기계연구소 재직 중.  
관심분야는 카메라/레이저센서 데이터 처리, 로봇 응용 SW.



#### 강태선

1988년 울산대학교 전기공학과 졸업.  
1990년 동 대학원 석사. 현재 현대중공업(주) 엔진기계연구소 재직 중.  
관심분야는 지능형 산업용 로봇.



#### 신현호

2002년 고려대학교 기계공학과 졸업.  
2009년 동 대학원 석사. 현재 현대중공업(주) 엔진기계연구소 재직 중.  
관심분야는 산업용 로봇응용 및 용접 공정 자동화.



#### 김수종

1987년 울산대학교 전자공학과 졸업.  
현재 현대중공업(주) 엔진기계연구소 재직 중.  
관심분야는 산업용 로봇응용 및 지능화 연구.