

빌릿 마킹 공정의 자동화를 위한 마킹 위치 인식 방법

부광석[#], 박진우*, 육현호*, 제우성**

Perception Method of the Marking Location for Automation of Billet Marking Processes

Kwangsook Boo[#], Jin-Woo Park*, Hyunho Yook* and Woosong Che**

ABSTRACT

The machine vision has been applied to a number of industrial applications for quality control and automations to improve the manufacturing processes. In this paper, the automation system using the machine vision is developed, which is applicable to the marking process in a steel production process line. The working environment is very harsh to workers so that the automatic system in the steel industry is required increasingly. The developed automatic marking system consists of several mechanical and electrical elements such as the laser position detecting sensor system for a structured laser beam which is projected to the billet in order to detect the geometry of the billet. An image processing algorithm has been developed to percept the two center positions of a camera and a billet, respectively, and to align two centers. A series of experiments has been conducted to investigate the performance of the proposed algorithm. The results show that two centers of the camera and the billet could be detected very well and differences between two center positions could be also decreased via the proposed location error decreasing algorithm.

Key Words : Machine Vision(시각 센서), Automatic Marking System(자동 마킹 시스템), Structured Light(구조광)

1. 서론

머신 비전(Machine Vision)은 제조 공정을 개선하기 위한 품질관리 및 자동화등의 많은 산업 분야에 적용 되어지고 있다.^{1,2} 특히 작업 환경이 근로자에게 매우 열악한 철강업은 자동화 시스템의 증가가 요구되는 분야이다.

강철의 생산 공정은 제선, 제강, 연주, 압연 공정

으로 분류되며 이 4개의 공정들은 순차적으로 처리된다. 제선 공정은 쇳물을 생산하는 기초공정이다. 철광석과 원료탄(유연탄)을 높이 100m 의 고로에 넣은 뒤, 1,200°C 정도의 뜨거운 바람을 불어넣어 원료탄이 타면서 나오는 열로 인하여 철광석이 녹아 쇳물이 된다. 또한 고로에서 생산된 쇳물은 불순물이 포함되어 있다. 이때의 쇳물을 용선이라고 하며, 이를 전로에 넣는다. 다음은 제강 공정으

... 접수일: 2004 년 10 월 12 일; 게재승인일: 2005 년 4 월 15 일

교신저자: 인제대학교 기계자동차공학부

E-mail mecchboo@injc.ac.kr Tel. (055)320-3186

* 인제대학교 기계공학과

** 동명정보대학교 메카트로닉스공학과

로 전로속에 고철과 용선을 함께 넣은 후, 순수한 산소를 불어 넣는다. 이러한 방법으로 불순물을 제거한 뒤에 얻어지는 깨끗한 쇳물을 용강이라 한다. 제강 공정 후에는 아직 액체 상태인 용강이 주형(mold)에 주입되고, 연속 주조기를 통과하면서 냉각 및 응고가 되어 연속적으로 슬래브(Slab), 블룸(Bloom) 등의 중간소재로 만들어 진다. 이 과정에서 블룸은 다시 강편 압연기를 거쳐 빌릿으로 변하거나, 선재 압연기를 통해 선재로 가공된다. 빌릿은 압연공정 전에 만들어지며, 반제품의 일종으로 소강판 이라고도 한다. 절단면의 한 변이 60~160mm, 길이는 1m에서 최대 9m이다. 빌릿 제조의 마지막 단계에서 빌릿 옆의 절단면에 제조 정보를 나타내는 마킹 공정의 표시가 필요하다. 이 마킹 공정은 마킹할 부위를 인식하는 두 개의 그룹으로 분류할 수 있으며, 그 중 하나는 기계적인 안내방법이며, 다른 하나는 머신 비전과 자동화 장치를 이용한다. 현재 사용되는 대부분의 마킹 방법은 기계적인 안내방법에 의해서 수행되고 있다.

그러나, 기계적인 안내방법은 표시 공정에서 몇 개의 문제점을 가지고 있다. 그 중 하나는 마킹 머신(Marking Machine)과 빌릿 사이에서 일어날 수 있는 비 정렬이다. 이는 압연되어 나오는 빌릿이 이송 과정에서 비 정렬이 발생하면 마킹 머신은 잘못된 위치에 마킹을 하게 되며, 마킹 공정은 오류를 발생시키게 된다. 두 번째는 빌릿 수직단면의 형상이 변형되어 왜곡된 형상을 가지는 경우이다. 이는 빌릿의 중심점을 파악하는데 어려움이 있다. 하지만, 보다 더 유연성을 갖는 머신 비전에 의한 방법은 위에서 제시한 각종 오류 유형에 유연하게 대처할 수 있다.

본 연구에서는 빌릿의 자동 마킹 공정시 발생할 수 있는 각종 오차를 머신 비전⁵을 적용하여 해결하고자 한다. 이러한 목표를 달성하기 위하여 개발된 빌릿 위치 인식 센서를 이용하여 빌릿 단면의 좌표값과 마킹 로봇의 엔드 이펙터(End Effector)의 좌표와의 차이점을 발견하며, 발견된 위치 값을 바탕으로 마킹 로봇(Marking Robot)의 엔드 이펙터의 영점좌표를 일치시킬 수 있는 알고리즘을 개발 하였다.

2. 빌릿 자동 마킹 시스템

2.1 시스템 구성

자동 마킹 시스템은 Fig. 1에 제시된 바와 같이 CCD 카메라, 프레임 그래버(Frame Grabber), 컴퓨터, 모터 드라이브(Motor Drive), 제어기, 전원공급기, 마킹 로봇등으로 구성되어 있다.

CCD 카메라는 목적하는 영상을 획득하며, 획득된 영상은 프레임 그래버를 통해서 메모리에 저장된 후에 컴퓨터는 알고리즘을 통해서 획득된 정보로부터의 위치 오차를 계산한다. 알고리즘에 의하여 이동위치가 결정되면, 모터 드라이브에 구동 신호를 발생하여 마킹 로봇을 제어한다.

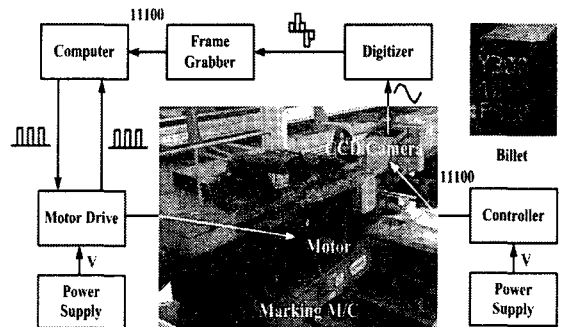


Fig. 1 Billet automatic marking system

2.2 빌릿 위치 인식 센서시스템

빌릿 위치 인식 센서 시스템은 CCD 카메라, 4개의 라인레이저, 렌즈로 구성되어 있다.

각 라인레이저는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 서로 수직으로 설치 하였다. 특히 각 라인레이저는 독립적으로 전원을 on/off 해서 제어되며, 모든 라인레이저를 on 했을 경우의 영상은 Fig. 3에 제시하였다. 각 라인레이저의 on/off 제어는 위치 인식 센서시스템에서 신호처리를 간편하게 하기 위한 중요한 수단을 제공한다.

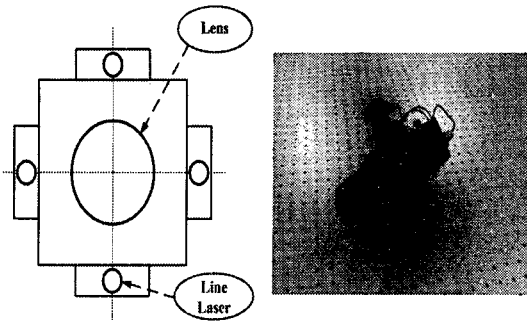


Fig. 2 Billet position detecting sensor system

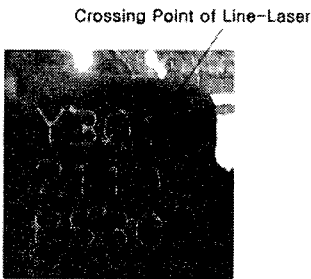


Fig. 3 Image of line-laser

2.3 전처리 과정

본 논문의 전처리 과정에서는 5개의 이진영상들을 연속적으로 획득한 후, 이 획득한 영상 정보를 바탕으로 원하는 정보를 추출한다. 이러한 전처리 과정은 Fig. 4에 개략적으로 설명 하였다. 전처리 과정의 처음 단계에서는 4개의 라인레이저가 전부 off일 경우의 기초영상(Basic Image)을 획득한다. 그 이후 4개의 라인레이저를 각각 1개씩 4번에 걸쳐서 빌릿상의 수직단면에 투사함과 동시에 4개의 직선광영상(Linc-Light Image)을 연속적으로 획득한다. 이와 같이 획득된 영상은 기준치에 의해서 이진화 된다.

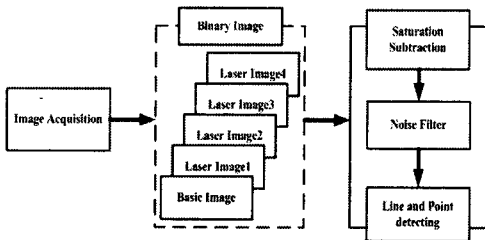


Fig. 4 Schematic diagram of pre-processing

획득된 5 개의 이진 영상은 $I_{binary}(x, y, j)$ 로 정의 된다.²

$$I_{binary}(x, y, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } I(x, y, j) > \text{thresholding} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $j=0, 1, 2, 3, 4$, $I(x, y, j)$ 는 j 번째 영상의 (x, y) 에서의 gray level 이고, $I_{binary}(x, y, j)$ 는 j 번째 영상의 (x, y) 좌표에서 binary value 이다.

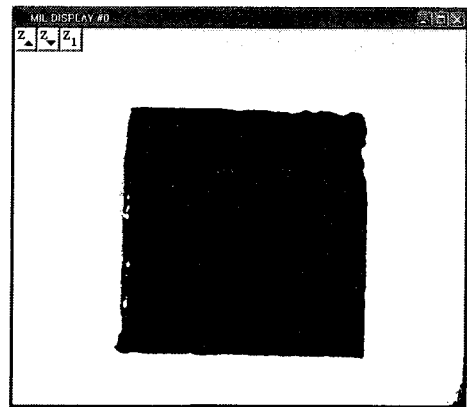
식(2)에서, 기초영상으로부터 4개의 차분화된 영상결과를 얻을 수 있으며, 이는 각각 $I_{new}(x, y, k)$ 이다.⁴

$$I_{new}(x, y, k) = \{I_{binary}(x, y, k) - I_{binary}(x, y, 0)\} \quad (2)$$

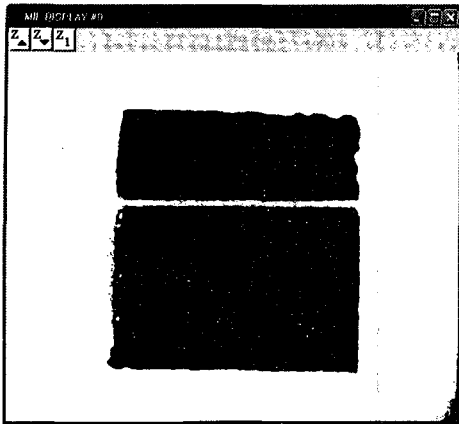
여기서 $k=1, 2, 3, 4$

차분화된 영상은 마킹 위치를 인식하는데 필요한 기초가 되는 영상이다. 하지만 이 기초가 되는 영상은 각각의 영상을 획득한 후에, 기초영상과 직선광 영상간에는 시간 지연으로 인해 환경적인 노이즈(Noise)가 발생한다. 이러한 노이즈 제거를 위해서 이진영상의 노이즈 제거방법인 모폴로지(Morphology)영상 처리 기법을 사용하였다.³ 이 영상 처리는 주로 스파크(Spark)잡음과 같이 전체 영상에서 아주 작은 잡음 요소를 제거하는데 주로 사용되는 영상 처리방법이다.

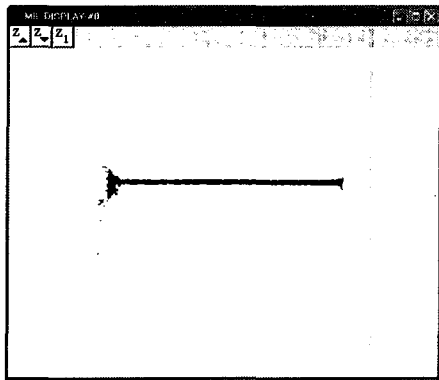
마지막으로 영상의 전처리 후의 결과 영상을 Fig. 5에 나타내었다.



(a) Basic image



(b) Line structured light image



(c) Subtracted image

Fig. 5 Resulted images according to preprocessing steps

3. 영상 처리 알고리즘

본 연구의 영상 처리 알고리즘은 중심 위치 인식 알고리즘과 위치 오차 감소 알고리즘의 2단계로 구성 되어있다. 중심 위치 인식 알고리즘은 빌릿 중심의 상대적인 위치와 카메라의 중심 위치를 결정 하기 위한 방법이다. 각 중심점들의 좌표를 계산하기 위해서는, 우선적으로 Fig. 3과 Fig. 6에서 제시한 12개의 점들에 관한 위치 정보가 필요하다. 12개의 점들은 4개의 직선 광영상을 기반으로 추출할 수 있다. 12개점들 중의 교차점은 4개의 영상을 비교하여 매우 빠르게 획득할 수 있다. 그 이후에, 4개의 직선 광이 물체의 모서리와 만나는 에지(Edge)점들 또한 결정될 수 있다. Fig. 6에서 나

타낸 바와 같이, 위에서 제시한 내용의 12개점들의 좌표정보를 알고 있다면, 식 (3) 으로부터 Fig. 7에 나타낸 바와 같이, 4개의 신규 점들을 새롭게 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{Q}_1 &= \frac{1}{2}(\bar{P}_1 + \bar{P}_8) \\ \bar{Q}_2 &= \frac{1}{2}(\bar{P}_2 + \bar{P}_5) \\ \bar{Q}_3 &= \frac{1}{2}(\bar{P}_4 + \bar{P}_7) \\ \bar{Q}_4 &= \frac{1}{2}(\bar{P}_6 + \bar{P}_9) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 \bar{P}_i ($i=1\sim7$)은 직선 광과 물체의 모서리가 맞닿는 점의 벡터이며, \bar{Q}_j ($j=1\sim4$)는 이들 점들간의 중점 벡터이다. 신규 점들의 좌표들로부터, 카메라 중심 위치의 좌표는 식(4)에 의하여, 빌릿 중심 위치의 좌표는 식(5)에 의하여 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned} O_{cx} &= \frac{1}{2}(\bar{P}_{13} + \bar{P}_{10}) \cdot \bar{u}_x \\ O_{cy} &= \frac{1}{2}(\bar{P}_{10} + \bar{P}_{11}) \cdot \bar{u}_y \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 O_{cx} , O_{cy} 는 고정 좌표계 X-Y-Z 에서 카메라 중심 위치의 좌표값이고, \bar{u}_x , \bar{u}_y 는 절대 좌표의 단위벡터이다.

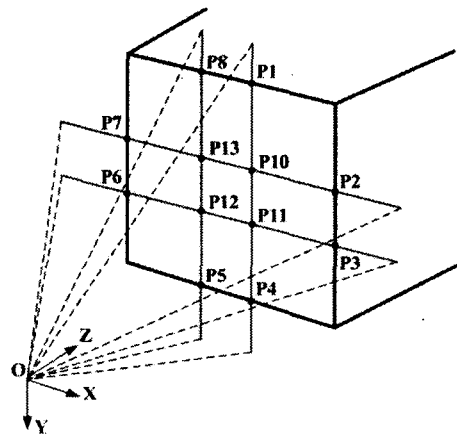


Fig. 6 Coordinate system for the line-laser image and the billet (coordinates of the interesting 12 points)

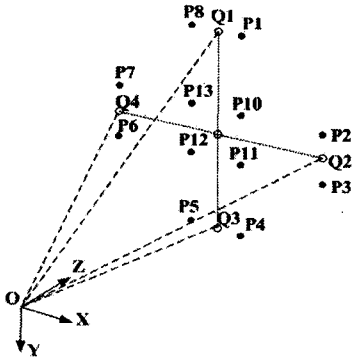


Fig. 7 The coordinates of new points defined for determining the centers of a camera and object

$$O_{ox} = \frac{1}{2}(\overline{Q_4} + \overline{Q_2}) \cdot \overline{u_x} \quad (5)$$

$$O_{oy} = \frac{1}{2}(\overline{Q_1} + \overline{Q_3}) \cdot \overline{u_y}$$

여기서 O_{ox} , O_{oy} 는 고정 좌표계 X-Y-Z 에서 빌릿 중심 위치의 좌표값이다. 그러므로 카메라 중심 위치 좌표와 빌릿 중심 위치 좌표 사이의 위치 오차는 다음과 같다.

$$\vec{e} = \vec{O}_c - \vec{O}_o \quad (6)$$

위치 오차 감소 알고리즘은 위치 오차 벡터의 크기가 아주 작은 값 ϵ 보다 작을 때까지 마킹 로봇의 엔드 이펙터를 제어한다.

$$\|\vec{e}\| \leq \epsilon \quad (7)$$

여기서, ϵ 는 카메라 중심과 빌릿 중심 위치간의 허용 오차이다. 위치 오차 감소 제어 알고리즘은 간단히 다음과 같은 PID 제어기로 구현이 가능하다.

$$\vec{v}(k+1) = \vec{v}(k) + \Delta \vec{v}(k) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Delta \vec{v}(k) &= K_p [\vec{e}(k) - \vec{e}(k-1)] \\ &+ \frac{K_d}{\Delta T} [\vec{e}(k) - 2\vec{e}(k-1) + \vec{e}(k-2)] + K_i \Delta T \vec{e}(k) \end{aligned} \quad (9)$$

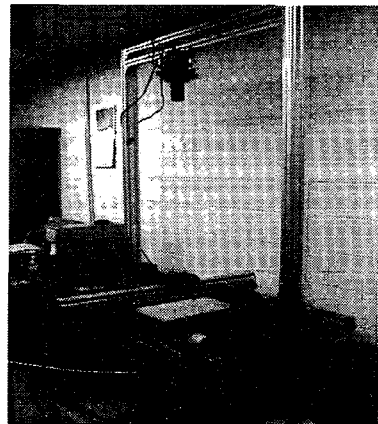
여기서, $\vec{v}(k)$ 는 k 샘플 순간에서 로봇 엔드 이펙터의 위치 벡터이고, K_p , K_d , K_i 는 각각 비례,

미분, 적분 제어 이득이며, 각각의 값은 시행착오법을 통해 구하였고, ΔT 는 샘플시간이다.

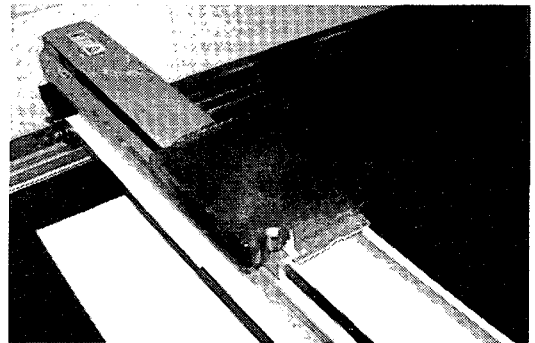
4. 실험

실험장치는 본 논문에서 제시하는 빌릿 자동 마킹 시스템의 성능평가를 위해 설계하였다.

실험적인 편의를 위해, 본 실험에서는 산업용 로봇 대신에 X-Y 테이블을 사용하는 실험으로 실험을 수행 하였다. 실험장치의 구성과 실험 대상이 되는 빌릿은 Fig. 8에 나타내었다. 빌릿의 사이즈는 약 $130 \times 132 \text{mm}^2$ 이며 Fig. 8(b)에 나타내었다, 또한 카메라는 X-Y 테이블 위의 1m 위치에 Fig. 8(a)에 나타낸 바와 같이 설치 하였다.



(a) Experimental apparatus



(b) Target billet for experiments

Fig. 8 System set up for experiments

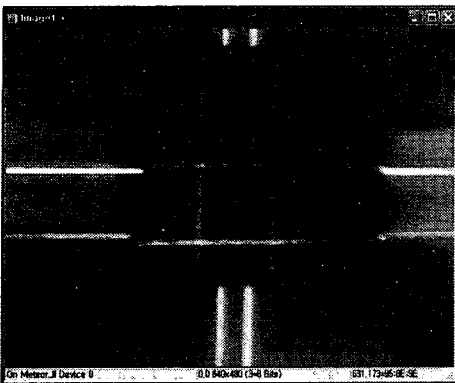
4.1 빌릿 위치가 정상인 경우

빌릿의 중심점을 X 와 Y 방향으로 (20X20)mm 지점으로 움직이고 난 후에 실험을 수행 하였다, 그리고 실험 과정의 결과들은 Fig. 9에 나타나 있다.

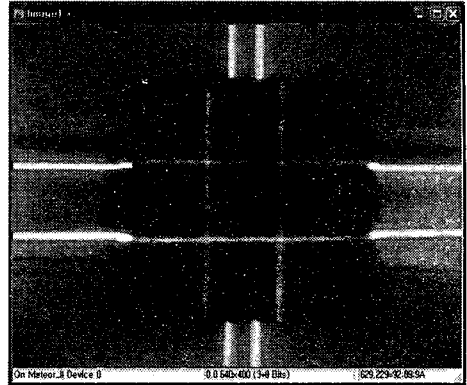
Fig. 9(a)에 나타난 빌릿 위의 구조광을 보면, 구조광의 사각모양은 빌릿 표면상의 3사분면, 즉 왼쪽, 아래 부분에 보이고 있다. 이와 같은 카메라와 빌릿 중심 사이의 불일치가 빌릿 마킹 공정 중에 종종 인식 될 수 있다. 그 결과 마킹을 이 위치에서 수행하는 경우 마킹 공정상의 큰 오류를 범할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 영상 처리 알고리즘을 적용함으로써 Fig. 9(a)의 두 중심 위치간의 차이를 인식할 수 있으며 그 결과는 Fig. 9(c)에 나타내었다.

Fig. 9(b)는 위치 추적 알고리즘 실행후의 빌릿 그레이 영상(Gray-Level Image)의 결과이다. 그리고 Fig. 9(b)에서, 구조광의 사각이 빌릿의 중앙 부분에 위치함을 알 수 있다. 이는 제안하는 알고리즘에 의해서 마킹 공정이 성공적으로 수행 되었음을 보여준다. Fig. 9(d)는 2개의 중심점들 사이의 위치 편차가 점차 줄여지는 것을 보여준다. 이와 같이, 2개의 중심점들 사이의 최후의 오차는 매우 작게 허용하는 오차 범위 내에 위치하게 할 수 있다.

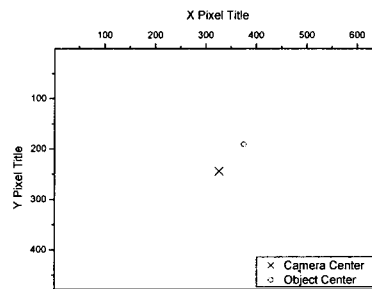
그 결과 카메라의 중심과 빌릿의 중심이 일치할 수 있으며, 그 결과는 Fig. 9(e)에서 그래프적으로 나타내었다.



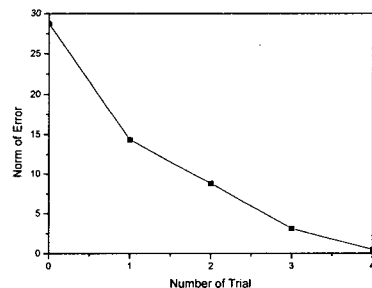
(a) Gray level image before position correction



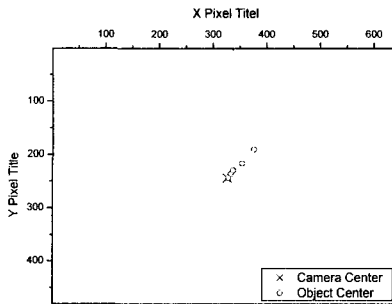
(b) Gray level image after position correction



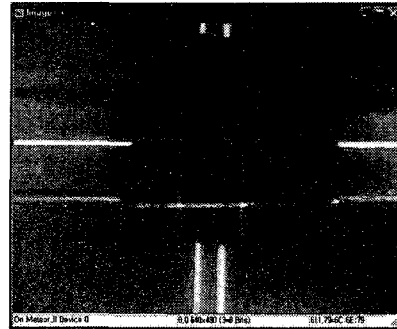
(c) The center positions of the billet and the camera



(d) Variation of the position error between the camera and the billet centers via position correction algorithm



(e) Variation of the positions of camera and billet centers via position correction algorithm



(a) Gray level image before the location error decreasing algorithm

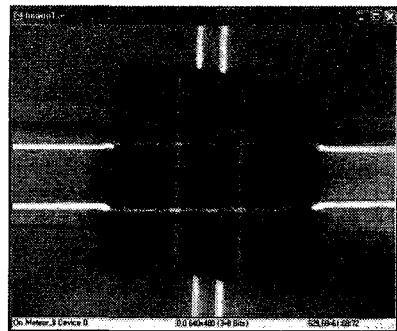
Fig.9 Experimental results for a normal position billet

4.2 빌릿 위치가 회전된 경우

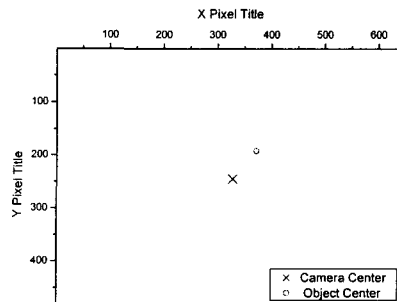
빌릿의 중심점의 초기위치는 위의 실험조건과 동일하며, 약간의 각도로 빌릿을 회전한 상태에서 실험을 수행하였다. 이렇게 변형된 위치를 갖는 빌릿에 대한 실험 결과는 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 10(a)는 빌릿이 초기 위치에서 회전한 상태에서, 구조광이 조사된 빌릿의 단면영상을 나타낸다. 구조광의 사각모양은 위의 실험조건과 동일하게 위치하도록 정렬하였다. 본 연구에서 제안하는 중심 위치 인식 알고리즘과 위치 감소 알고리즘을 수행한 후, 빌릿 위에 나타난 구조광의 사각모양은 Fig. 10(b)에서 나타낸 바와 같이 얻게 되었다.

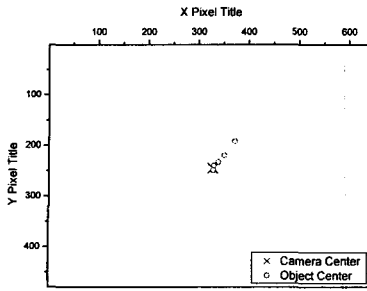
초기위치에서 billet의 중심과 카메라 중심 위치를 인식한 결과는 그림 Fig. 10(b)에 나타내었다. Fig. 10(b)에서 billet의 모양이 회전이 되어 정상 상태와 다른 모양을 한 경우에도 제안된 알고리즘에 의하여 카메라 중심위치와 물체 중심위치가 일치함을 알 수 있다. 또한 2개의 중심점 위치들 사이의 오차는 Fig. 10(c)에 나타낸 바와 같이 매우 작아 허용 오차 범위 안에 들어감을 알 수 있다.



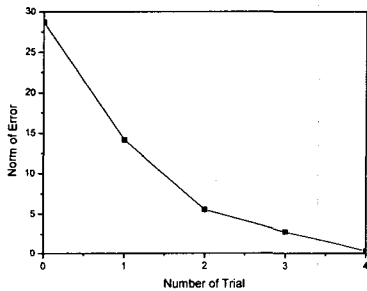
(b) Gray Level Image after the location error decreasing algorithm



(c) The center position of the billet and the center position of the camera



(d) The positions of camera center and billet center as the location error decreasing algorithm is running



(e) Experimental results in case of rotation of the billet

Fig. 10 Experimental results for the rotated position billet

5. 결론

본 논문에서 비전 센서 시스템과 위치 인식 알고리즘으로, 빌릿의 마킹 공정 자동화를 위해서 매우 중요한 빌릿의 위치 및 회전 정보 인식을 간단하면서도 정확하게 측정 하는 방법을 제안하였다. 철강업에서 빌릿 마킹 공정은 위험하고 열악한 작업조건으로 오류를 최소화하는 자동화된 시스템에 적용 가능한 최적화된 알고리즘 개발을 목적으로 연구 하였다. 구조광⁴ 을 사용하고 기초 영상과의 비교 영상만을 가지고 처리함으로써 원 영상을 처리하는 종래의 시스템에 비하여 계산의 주기를 삭감할 수 있었으며, 구조광의 사용으로 환경의 변

동에 강인한 특성을 갖는 만족할 수 있는 위치 오차범위내의 마킹 로봇의 엔드 이펙터를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 2003년도 산업자원부의 경남 특화 산업진흥사업의 일환인 중소기업 1사1기술사업의 연구비로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. Jun, J. H., "A Study on Automatic Seam Tracking using Vision Sensor," Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp.1105-1109, 1997.
2. Scoutt, E. Umbaugh, "Computer Vision and Image Processing," Prentice Hall PTR, pp. 41-44, 1988.
3. Lee, Chil-Woo, Kim, Man-Jin and Ki, Myung-Souk, "A Visual Inspection System for Gravure Printing Using Perimetric Mask and Symmetry Transform Algorithm," Journal of Control Automation and System Engineering, pp. 984-994, 2003.
4. Sung, K. E. and Rhee, S. H., "High speed seam tracking using multi-line laser vision sensor," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, pp. 584-587, 2002.
5. Um, K. W., Rhee, S. H., "A Study on Weldability Estimation of Laser Welded Specimens by Vision Sensor," Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp.1101-1104, 1997.