

## 로봇 시각 장치를 이용한 압연코일의 라벨링 자동화 구현\*

이양범, 이용중\*\*  
전기전자 및 자동화공학부

### <요 약>

본 연구에서는, 로봇비전시스템과 주변 기구학을 이용하여 수동에 의한 압연코일 라벨링 작업을 자동으로 라벨링하는 시스템으로 구현하였다. 이를 위하여 압연 코일의 윤관선과 임계치를 찾기위한 영상처리는 이치 정도 알고리즘을 적용하였다.

처리된 데이터로부터 코일내 중심점의 위치가 변화하여도 Hu에 의해 제시된 모멘트 알고리즘을 적용하였을 때 쉽게 다룰 수 있었다. 또한 자유도가 6축인 산업용 로봇의 위치 오차 보정 알고리즘은 비동기 방식으로 전달된 데이터와 카메라와 통신하므로서 압연 코일의 중심점을 찾을 수 있다. 만일 압연 코일의 중심점 위치가 변화하여도 로봇이 성공적으로 라벨링 작업을 수행하기 위하여 압연 코일의 중심점으로 움직인다. 따라서 이러한 시스템은 효과적이면서도 안정적으로 수행될 수 있다.

## An Implementation of the Automatic Labeling Rolling-Coil Using Robot Vision System

Yang-Bum Lee, Yong-Joong Lee  
School of Electrical Engineering and Automation

### <Abstract>

In this study an automatic rolling-coil labeling system using robot vision system and

\* 이 연구는 1997년도 울산대학교 학술 연구비 조성에 의하여 연구되었음.

\*\* 창원기능대학 전기과

peripheral mechanism is proposed and implemented, which instead of the manual labor to attach labels on rolling-coils in a steel mill. The binary image process for the image processing is performed with the threshold, and the contour line is converted to the binary gradient which detects the discontinuous variation of brightness of rolling-coils. The moments invariant algorithm proposed by Hu is used to make it easy to recognize even when the positions of the center are different from the trained data. The position error compensation algorithm of six degrees of freedom industrial robot manipulator is also developed and the data of the position of the center rolling-coils, which are obtained by floor mount camera, are transferred by asynchronous communication method. Therefore, even if the positions of center is changed, robot moves to the positions of center and performs the labeling work successfully. Therefore, this system can be improved in the safety and efficiency.

Keyword : rolling-coil, robot vision system, image processing, moments invariant, position error compensation algorithm

## I. 서 론

제철소의 냉·열간 코일 생산 라인은 대부분 자동화된 일관 공정으로 구성되어 있으나 마지막 부분인 라벨 부착 공정은 기술적으로 자동화가 어려운 공정으로 남아 있었다. 생산이 완성된 압연코일에는 국내외의 주문자에 따른 제품 사양, 주문자 명, 행선지 등이 명기된 라벨을 부착(이하 라벨링)한다. 이 작업을 위하여 주·야 교대로 2명씩의 작업자가 24시간 상주해야 하고, 수작업으로 인하여 라벨의 부착 위치가 부정확하다. 라벨은 뒷면에 강한 접착제가 도포되어 있으므로 주문자는 라벨이 부착된 부분의 강판을 절단하고 사용하여야 하는데 부착 위치에 따라서는 상당한 양이 소비될 수 있다.

이 공정의 자동화를 검토하는 과정에서 각 압연코일에 대한 정량적 데이터를 사전 공정에서 받을 수 없을 뿐만 아니라 코일의 크기와 중량 등이 매번 다르므로 학습된 위치로만 반복 작업하는 범용이나 간이 로봇을 적용하는 것은 불가능한 것으로 판단되어진다. 이처럼 코일의 가변적 상황을 수용하고 공정의 안정성과 유연성을 확보하기 위하여 6축 수직 다관절 IRB 3200 로봇과 시각 장치를 접속(이하 로봇 시각 장치 시스템)하여 적용한다.

본 연구에서는 로봇 시각 장치 시스템의 효과적 적용이 성공의 관건인 바, 많은 유사 적용 사례에 대한 연구가 선행되었다. 화상 처리에 있어서 압연코일이 놓여 있는 위치와 방향은 로봇 시각 장치 시스템에 중요한 요소로서 작용한다. Price[1]은 샘플 모델과 작업 대상물의 유사도를 비교하기 위하여 특징점들의 패어(pair)를 비교하는 2차원 물체 인식 시스템을 제안하였고, Hu[2]는 모멘트 불변치(moments invariant)를 이용하는 알고리즘을 제안하였다. 그러나 Price가 제안한 알고리즘은 동일한 물체임에도 불구하고 특징점 위치가 서로 다를 경우 특징점의 불일치로 인하여 인식을 못하는 문제점이 있다. 반면에 Hu가 제안한 알고리즘은 화상 내의 물체가 회전하거나 크기가 변하더라도 동일하게 판단하는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서도 Hu가 제안한 모멘트 불변치 알고리즘을 이용하여 압연코일에 대

한 위치와 방향을 검출한다. 또한 캘리브레이션과 로봇의 자세 보정 알고리즘은 공간 좌표계 상에서의 변환 관계를 해석하여 적용하였다[3].

이런 종류의 자동화 시스템의 유사 사례는 국내에는 전무하다. 국외에서는 일본 新日本製鐵(株)의 大分 製鐵所에서 FANUC 로봇과 레이저센서 및 자동 라벨 분리형 프린터 등으로 구성된 자동 라벨링 시스템이 있다[4][5](이하 大分시스템). 이미 세계적인 기술 특허를 받은 大分시스템은 본 시스템과 비교하면 훨씬 단순하게 구성되어 있다. 그 이유로는, 기존의 수동 라벨링 생산 공정을 자동화 시스템으로 전환할 때 큰 부담이 될 수 있는 컨베이어의 반복 위치 정밀도와 압연코일의 벌어짐, 생산 공정의 표준화 등이 본 시스템을 설치한 제철소에 비하여 월등히 좋은 조건이기 때문이다. 따라서 이와 같은 기술상의 어려운 점을 수용하기 위하여 본 시스템은 구성이 더욱 지능화 되었으며, 실제 생산 현장에 설치 운영한 결과 大分시스템에 비하여 시스템이 독립적이고 간단히 운용될 수 있는 등의 장점을 보여 주었다.

또한 본 시스템은 높은 가동률을 보이며 성력화, 라벨 부착 품질의 안정으로 압연코일 공장의 생산성 향상에 공헌한 결과 현재에도 계속 추가 설치되고 있는 상황이다.

## II. 자동 라벨링 시스템 구성

압연코일은 주문 생산품이므로 그림 1과 같이 그 종류가 다양하고, 강판의 재질에 따라 코일을 감는 시작면과 끝단면의 위치와 벌어지는 정도가 불규칙하다.

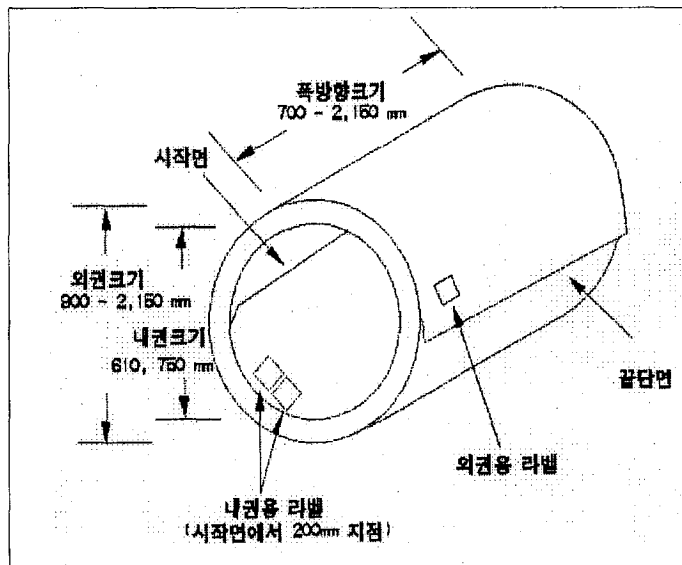


그림 1. 작업 대상물인 압연코일과 라벨.

Fig. 1. Coil and label.

과거의 수동 라벨링 작업을 자동 라벨링 시스템으로 전환시키는 과정에서 도출된 주요 문제점들은 다음과 같다.

- ① 그림 1과 같이 주문주에 따라 크기, 중량, 강판의 두께가 전부 다르기 때문에 기존의 대량 생산형 자동화 개념으로는 접근이 어렵다.
- ② 수동 라벨링 작업을 전제로 공장이 건설되었으므로 압연코일에 대한 크기, 중량, 두께 등에 대한 정량적인 데이터가 없다.
- ③ 압연코일을 운반하는 컨베이어의 반복 위치 오차가 크고, 압연코일의 감기는 시작면과 끝단면의 위치와 벌어짐이 불규칙하므로 일정 위치로만 반복 작업이 가능한 범용이나 간이 로봇을 적용하면 충돌이 발생할 수 있다.
- ④ 인쇄된 라벨의 뒷면은 강력한 접착 물질이 도포되어 있으므로 취급하기 곤란하고, 그 대로 두면 자체의 접착력으로 인하여 찌그러지는 문제도 있다.

이와 같은 기술상의 어려운 점을 수용하고, 안정된 품질 확보와 운영상의 유연성을 부여하기 위한 시스템 구성은 그림 2와 같이 한다.

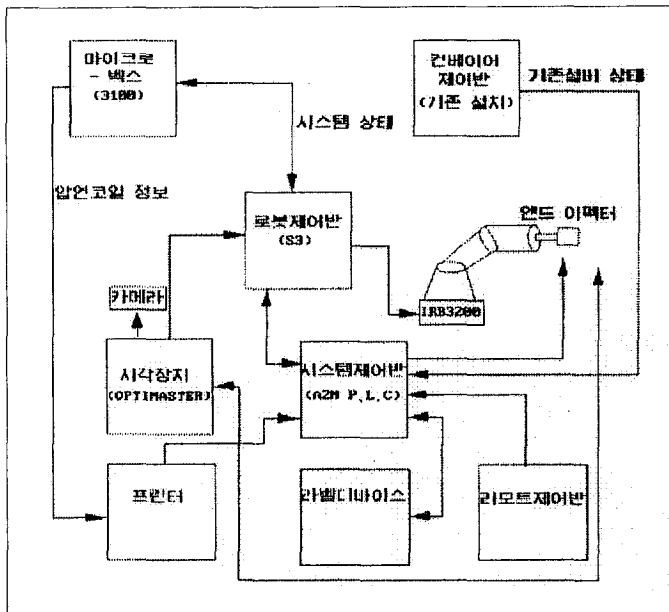


그림 2. 전체 시스템 배치도.

Fig. 2. The whole system lay-out.

그림 2에서 마이크로-박스는 전체 시스템에 대한 통신, 제어, 모니터링을 수행하고, 로봇 시각 장치 시스템은 작업자를 대신한다. 또한 시스템 제어반과 리모트 조작반은 주변 장치류와 인터록(interlock)하고, 자동 프린터는 라벨과 후지의 분리와 더불어 라벨 정보를 인쇄하며 라벨 디바이스는 라벨을 이송한다.

따라서 ①과 ②에 대한 문제점은 그림 2와 같이 2대의 CCD카메라가 부착된 로봇 시각

장치를 이용하여 해결한다. 1대의 CCD카메라는 고정형(floor mount type)으로 설치하여 크기가 가변하는 압연코일 중앙 홀의 중심 위치를 검출하여 로봇이 압연코일에 접근하는 자세를 유도하고, 나머지 1대는 그림 3과 같이 이동형으로 특수하게 제작된 엔드 이펙터와 함께 설치한 다음, 6축을 회전시켜 압연코일의 감긴 시작면과 끝단 면을 검출토록 한다.

③에 대한 문제점은 그림 3의 엔드 이펙터에 이동형 카메라와 일체형으로 설치한 근접 센서를 이용하면, 그림 4와 같이 적절한 라벨링 거리만큼 로봇이 이동되는 IRB3200 로봇의 고유한 탐색 기능으로 해결한다.

④의 문제점은 그림 5와 같이 특수 재질로 제작한 자동 라벨 분리형 프린터와 라벨 디바이스를 운용한다[3].

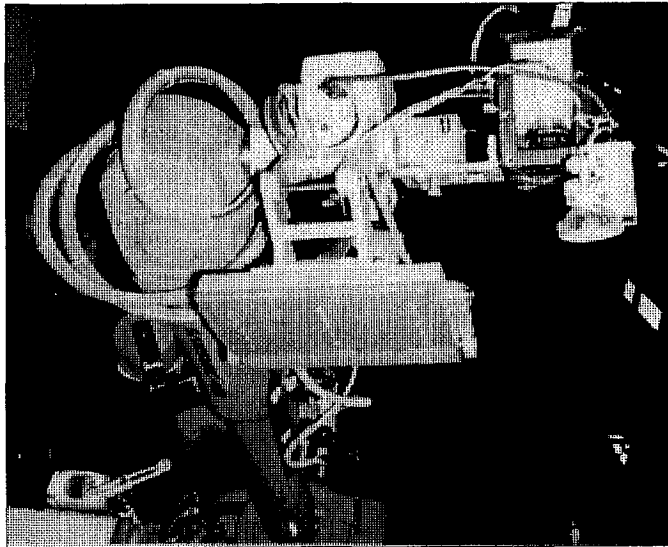


그림 3. 로봇 6축에 부착된 엔드 이펙터.

Fig. 3. End effector attached to robot 6 axis.

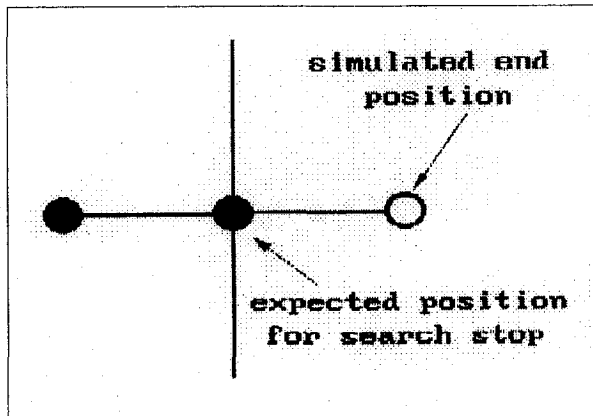


그림 4. IRB3200 로봇의 탐색 기능.

Fig. 4. Searching function of IRB3200 robot

### III. 화상처리 및 로봇 자세 보정 알고리즘

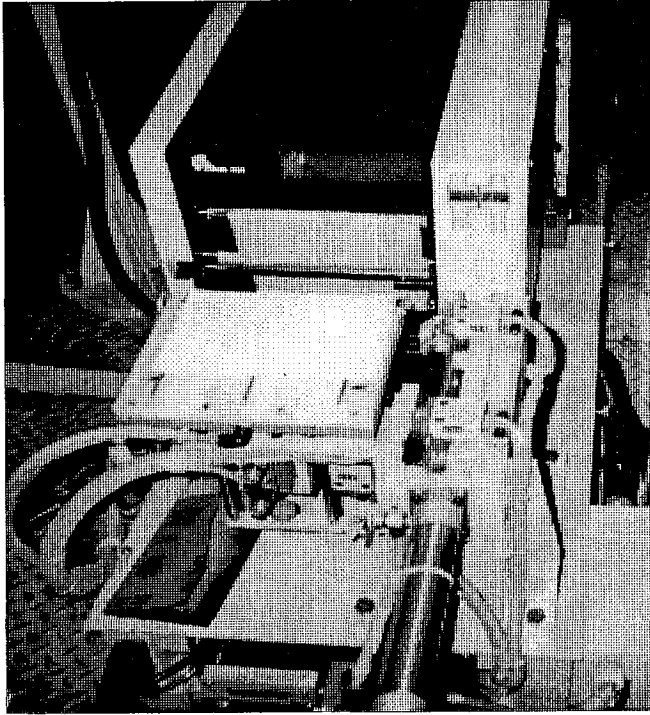


그림 5. 프린터와 결합된 라벨 디바이스.

Fig. 5. Printer with label device.

입력 화상에 대한 전처리 단계인 이치화는 히스토그램의 임계값을 기준으로 설정하는 방법이 대부분 적용되고 있다. 관련 분야의 주요 연구로서 Cheung 등[6]은 휘도가 작업 대상물에 글로벌하게 변화하는 것에 따른 영향을 배제하기 위하여 휘도에 불변하는 멀티 임계값 설정 알고리즘을 제안하였고, Eschbach 등[7]은 입력화소의 휘도에 따라 임계값을 설정하여 에지를 강조하는 알고리즘을 개발하였다.

#### 1. 화상 처리 알고리즘

Cheung 등이 제안한 알고리즘을 노출된 현장에 적용코자 할 때는 주변 휘도 변화에 따른 영향을 최소화시키기 위하여 반드시 차단막을 설치해야 한다. 그러나 그림 2와 같은 시스템을 설치한 제철소는 수십톤이 넘는 기존 장치류의 이동과 간섭 때문에 차단막을 설치할 수 없다. 따라서 입력 휘도에 따라 정확한 임계값을 설정할 수 없으므로 Cheung 등이 제안한 알고리즘의 적용은 불가능하다. Eschbach 등의 알고리즘은 주변 휘도가 변함에 따라 에지 강조 특성이 달라지고 이치화를 할 때 계산량이 급격히 늘어나는 단점이 있지만 구현이 간단하고 고속으로 처리할 수 있는 장점이 있다. 따라서 이 알고리즘을 응용하여

다음과 같이 적용한다. 입력 휘도가 최소값인 경우를 기준으로 하는 최소값 기준 2치화  $L_s(\min)$ 는 설정한 윈도우 내의 가장 어두운 화소에 대한 휘도를  $I_{\min}$ , 보정하는 값을  $I_n$  (플러스 값)으로 할 때 다음과 같은 방법으로 적용한다.

$$L_s(\min) = I_{\min} + I_n \quad (1)$$

또한 최대값 기준 이치화  $L_s(\max)$ 는 윈도우 내의 가장 밝은 화소에 대한 휘도를  $I_{\max}$ , 보정하는 값을  $I_x$  (마이너스 값)으로 할 때 다음과 같은 방법으로 적용한다.

$$L_s(\max) = I_{\max} + I_x \quad (2)$$

그러나 식 (1)과 (2)를 실제 현장에 적용한 결과 주변 휘도 변화로 인하여 이치화 결과가 미세하게 변하였다. 따라서 본 연구에서는 그림 3과 같이 엔드 이펙트에 할로겐 램프를 이동형 카메라와 동일한 방향으로 부착한 국부 조명을 만들어 급격하게 변하는 것을 최소화하였다.

한편, 윤곽선은 입력 화상에 대한 크기와 형태 등을 인식하는 기본적인 요소로 작용한다. 관련 분야의 연구로는 Prewitt[8]은 비교적 다른 그레이 레벨을 가지는 두 영역을 경계로 하여, 그 경계에서 변화되는 그레이 레벨량을 기준으로 윤곽선이 판별되어야 한다고 제안하였다.

명암도의 불연속성을 이용하여 윤곽선을 검출하는 방법은 다음과 같다.

- ① 명암도 변화를 면함수에 정합(surface fitting)시키는 방법
- ② 2계 미분법(second-derivative methods)을 해석하여 구하는 방법
- ③ 색깔의 변화를 이용하는 방법
- ④ 이치 경도를 이용하는 방법

그러나 ①과 ②는 실험실에서 구현한 연구 사례는 많이 있으나 실제 주변 휘도 변화가 심한 생산 현장에는 적용하기가 매우 어렵다. ③은 실제 산업체에서는 실용화가 안되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 식 (1), (2)와 같이 설정한 임계값을 이용하면 쉽게 윤곽선을 검출할 수 있는 ④의 방법을 이용하였다. 입력 화상에 대한 한 개의 화소  $(x, y)$ 에 대한 명암도 함수를  $f(x, y)$ 로, 이치 정도 연산자를  $\Delta$ 로 하였을 때 이치 정도 연산  $\Delta f(x, y)$ 은 다음과 같은 벡터로 정의된다.

$$\Delta f(x, y) = i \frac{\partial f}{\partial x} + j \frac{\partial f}{\partial y} \quad (3)$$

여기서

$i$  : 명암도에 대한  $x$ 축 벡터.

$j$  : 명암도에 대한  $y$ 축 벡터.

또한 8개의 인접 화소에 대한  $x$ 방향의 이치 경도  $G_x$ 와  $y$ 방향의 이치 경도  $G_y$ 는 식 (4)와 같고,  $\Delta f(x, y)$ 의 크기  $|\Delta f(x, y)|$ 는 식 (5)와 같이  $f(x, y)$ 의 최대 증가율과 같다

$$\left. \begin{aligned} G_x &= (x_7 + 2x_8 + x_9) - (x_1 + 2x_2 + x_3) \\ G_y &= (x_3 + 2x_6 + x_9) - (x_1 + 2x_4 + x_7) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$|\Delta f(x, y)| = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (5)$$

방향  $\theta_c$ 는 식 (6)과 같이 명암도 함수  $f(x, y)$ 가 최대로 증가하는 방향과 같다.

$$\theta_c = \tan^{-1} \left( \frac{\partial f}{\partial y} / \frac{\partial f}{\partial x} \right). \quad (6)$$

따라서 인접하는 화소 사이의 명암도에 변화량이 크면 이치 경도량이 커지게 되고, 작으면 이치 경도량이 작아지게 되는 점을 이용하여 최대 명암도의 변화점을 찾고 이를 경계로 압연코일에 대한 윤곽선을 검출한다.

한편, 압연코일에 대한 위치와 방향 검출을 위하여 Hu가 제안한 알고리즘을 다음과 같이 이용한다. 2차원 직교 좌표계의  $(p + q)$ 차 모멘트  $m_{pq}$ 는 식 (7)과 같이 리이만(Riemann)적분식으로 표현된다.

$$m_{pq} = \int \int x^p y^q f(x, y) dx dy. \quad (7)$$

여기서

$$p, q = 0, 1, 2, \dots$$

$f(x, y)$  : 한 개의 화소  $(x, y)$ 에 대한 명암도 함수.

따라서 압연코일에 대한 윤곽선의 면적  $A$ , 원주  $l$ 일 때, 식 (7)을 이용하여 식 (8)과 같이 압연코일의 윤곽선에 대한 전체 영역을 의미하는 영차 모멘트와

$$m_{00} = \int \int_A dx dy = \oint_l x dy. \quad (8)$$

윤곽선에 대한 중심 위치 정보를 가지고 있는 일차 모멘트는 식 (9), (10)과 같이 구할 수 있다.



$$m_{01} = \int \int_A y dx dy = \oint_I xy dy \quad (9)$$

$$m_{10} = \int \int_A x dx dy = - \oint_I xy dx \quad (10)$$

또한 관성 모멘트로 압연코일 윤곽선에 대한 주축(principal axis)정보를 가지고 있는 이차 모멘트를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$m_{02} = \int \int_A y^2 dx dy = \oint_I xy^2 dy \quad (11)$$

$$m_{20} = \int \int_A x^2 dx dy = - \oint_I xx^2 y dx \quad (12)$$

$$m_{11} = \int \int_A xy dx dy = \oint_I \frac{1}{2} x^2 y dy \quad (13)$$

따라서 영차 모멘트와 일차 모멘트를 이용하여 압연코일의 중심 위치는 다음과 같이 구하고,

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (14)$$

압연코일의  $x$ 축 방향 기울기와 이차 모멘트를 이용하면 아래와 같이  $\theta_s$ 를 구할 수 있다.

$$\tan(2\theta_s) = \frac{2(m_{11} - m_{00}x_c y_c)}{(m_{20} - m_{00}x_c^2) - (m_{02} - m_{00}y_c^2)} \quad (15)$$

## 2. 카메라 캘리브레이션과 로봇의 자세 보정

카메라 캘리브레이션은 렌즈의 광학적인 특성과 카메라 시스템 자체의 물리적인 데이터를 나타내는 고유 파라메타와 3차원 공간 좌표계에 대한 카메라 좌표계의 위치와 회전을 자세 변수로 나타낸다. 식 (14)에서 구한  $(x_c, y_c)$ 는 고정형 카메라가 검출한 화상 좌표계 상의 압연코일에 대한 중심 위치이므로 카메라와 실제 공간 좌표계 상에 있는 압연코일과의 대응 관계를 구해야만 로봇의 자세 보정 데이터로 적용할 수 있다. 이를 위하여 실제 그림 6과 같이 공간 좌표계에서 학습된 압연코일의 중심 위치  $C_a$ 에 대한 화상 좌표계 상의 이미지 플레인 점  $p_{ia}$ 의 관계는 카메라 시스템의 내부 파라메타를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

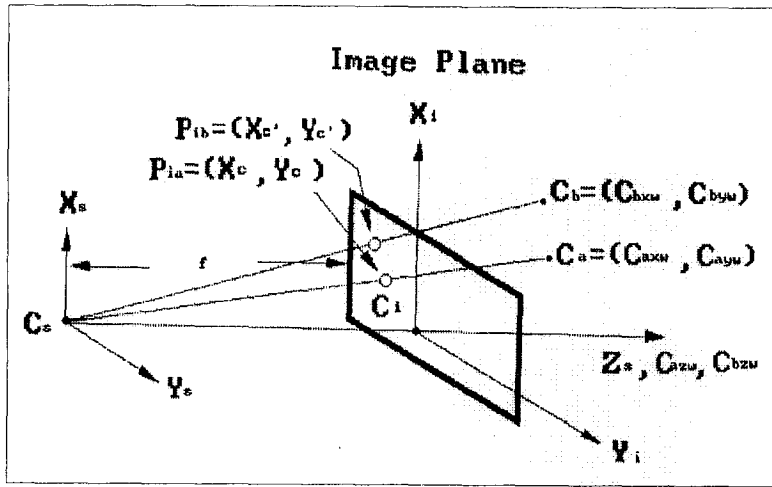


그림 6. 투사 변환 모델.

Fig. 6. Perspective tranformation model

여기서

$C_s$  : 고정형 카메라 좌표계.

$C_i$  : 이미지 플레인 좌표계.

$C_a = (C_{axw}, C_{ayw}, C_{azw})$  : 학습된 압연코일의 중심 위치.

$C_b = (C_{bxw}, C_{byw}, C_{bzw})$  : 다른 크기인 압연코일의 중심 위치.

$p_{ia} = (x_c, y_c)$  :  $C_a$ 에 대한 이미지 플레인 상의 점.

$p_{ib} = (x_c', y_c')$  :  $C_b$ 에 대한 이미지 플레인 상의 점.

$f$  : 카메라의 유효 초점 거리.

$$\left. \begin{aligned} x_c &= \frac{C_{axw}(f - C_{azw})}{f} \\ y_c &= \frac{C_{ayw}(f - C_{azw})}{f} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

따라서 중심 위치가  $C_b$  또는 다른 위치인 압연코일이 반입되어도 식 (16)을 이용하여 화상 좌표계 상에서 변경된 중심 위치에 대한 데이터를 연산하면, 공간 좌표계에서 실제 압연코일의 이동 거리를 측정할 수 있다. 따라서 이미지 플레인상의 점  $d_{ia}$ 와  $d_{ib}$ 에 대한 관계는 그림 6을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} x_c' &= x_c \pm \Delta x_c \\ y_c' &= y_c \pm \Delta y_c \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

여기서  $(\pm \Delta x_c, \pm \Delta y_c)$ 는 다른 크기인 압연코일의 반입으로 인한  $(x_c, y_c)$ 의 가변 데이터이다. 그러므로 그림 2와 그림 6을 이용하면 로봇 시각 장치 시스템과 주변 장치와의 변환 관계를 그림 7과 같이 구성할 수 있다.

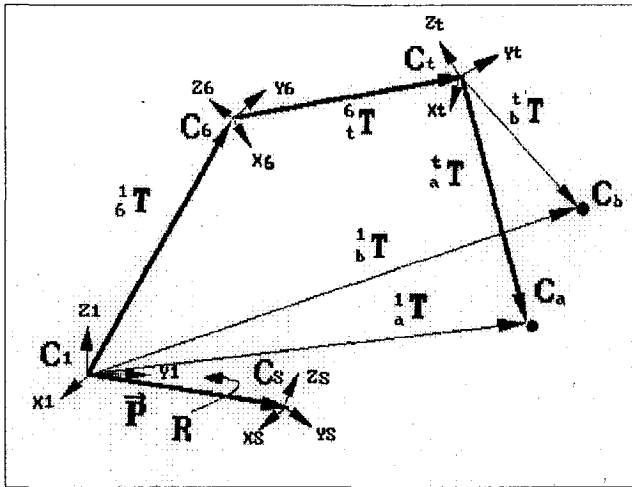


그림 7. 로봇 시각 장치 시스템 좌표계.  
Fig. 7. Coordinate frame for robot vision system.

여기서

$C_1$  : 로봇 기저 좌표계.

$C_6$  : 로봇 6축 좌표계.

$C_t$  : 로봇 엔드 이펙터 좌표계.

$C_w$  : 실제 압연코일을 놓는 공간 좌표계.

${}^1_s T$  : 로봇 기저와 고정형 카메라간의 변환 행렬.

${}^1_6 T$  : 로봇 기저와 6축간의 변환 행렬.

${}^6_t T$  : 로봇 6축과 엔드 이펙터간의 변환 행렬.

${}^t_a T$  : 엔드 이펙터가  $C_a$  위치까지 접근해야 하는 상대 위치.

${}^t_b T$  : 엔드 이펙터가  $C_b$  위치까지 접근해야 하는 상대 위치.

$\vec{p}$  :  $C_1$ 을 기준으로 하는 카메라의 위치 변환 벡터.

$R$  :  $C_1$ 을 기준으로 하는 카메라의 회전 변환 행렬.

${}^1_a T$  : 로봇 기저와  $C_a$  위치간의 변환 행렬.

${}^1_b T$  : 로봇 기저와  $C_b$  위치간의 변환 행렬.

그림 7에서 압연코일의 중심 위치가 학습된 위치  $C_a$ 에 있을 때 변환 관계는 행렬식으로 다음과 같이 표현된다.

$${}^1_a T = {}^1_6 T \cdot {}^6_t T \cdot {}^t_a T \quad (18)$$

엔드 이펙터는 그림 2와 그림 3과 같이 로봇 6축에 부착되어 있고, 엔드 이펙터 좌표계  $C_1$ 는 로봇 6축 좌표계  $C_6$ 과 같은 방향이면서 위치만 다르므로 아래와 같이 표시된다.

$${}^6_t T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_{xt} \\ 0 & 1 & 0 & p_{yt} \\ 0 & 0 & 1 & p_{zt} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

여기서  $p_{xt}$ ,  $p_{yt}$ ,  $p_{zt}$ 는 엔드 이펙터 좌표계  $C_1$ 의 중심점을 로봇 6축 좌표계  $C_6$ 에서 측정한 값이다.

또한  ${}^1_a T$ 는 그림 7과 같이 로봇 기저 좌표계  $C_1$ 에서 주시한  $C_a$ 의 변환으로  $C_a$ 와  $C_b$ 는 좌표축이 평행하게 설정되어 있으므로 다음과 같이 표시된다.

$${}^1_a T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_{xa} \\ 0 & 1 & 0 & p_{ya} \\ 0 & 0 & 1 & p_{za} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

여기서  $p_{xa}$ ,  $p_{ya}$ ,  $p_{za}$ 는  $C_1$ 을 기준으로 하는  $C_a$ 의 원점 좌표이다. 또한 카메라 자세 변수를 구하기 위하여 로봇 기저를 기준으로 카메라 좌표계의 변환 행렬  ${}^1_s T$ 를 다음과 같이 성하여  $C_1$ 을 기준으로 하는 카메라의 위치 변환 벡터  $\vec{p}$  과 회전 변환 행렬  $R$ 을 구한다.

$${}^1_s T = \begin{bmatrix} R & \vec{P} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

만일, 새로 반입된 압연코일의 중심 위치가  $C_b$ 가 되면, 엔드 이펙터가  $C_b$  위치까지 접근해야 하는 상대 위치  ${}^t_b T$ 에 대한 관계식은 다음과 같이 구한다

$${}^t_b T = {}^6_t T^{-1} \cdot {}^1_6 T^{-1} \cdot {}^1_b T \quad (22)$$

$${}^1_b T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_{xb} \\ 0 & 1 & 0 & p_{yb} \\ 0 & 0 & 1 & p_{zb} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

여기서  $p_{xb}$ ,  $p_{yb}$ ,  $p_{zb}$ 는  $C_1$ 을 기준으로 하는  $C_b$ 의 원점 좌표이다. 따라서 실제 자세 보정을 하는 로봇의 변환 관계는 다음과 같이 구할 수 있다.

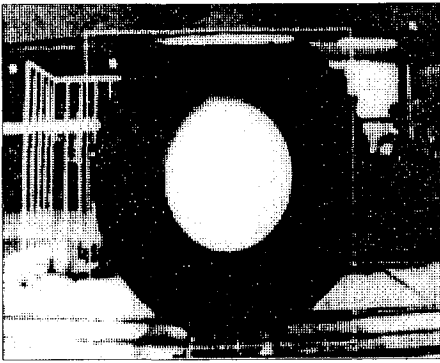
$${}^1_6 T = {}^1_b T \cdot {}^6_t T^{-1} \quad (24)$$

식 (24)에서  ${}^6_t T^{-1}$ 는 식 (19)를 이용하고,  ${}^1_b T$ 는 식 (23)의 결과를 대입한 다음, IRB3200의 기구학 해석[3]을 이용하면 자세가 보정된 각 관절의 값을 구할 수 있다.

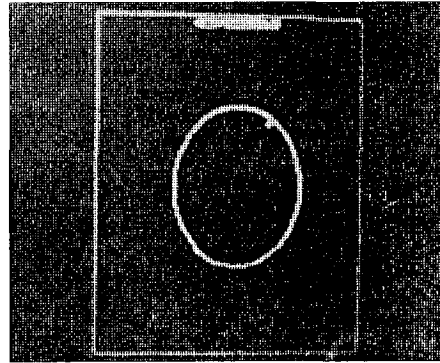
## IV. 시스템 운용 및 기존 시스템과 비교

### 1. 시스템 운용 결과

고정형 카메라로 압연코일의 바깥 원 부분과 중앙 홀을 검출한 결과는 그림 8과 같고, 이동형 카메라로 감기는 시작면과 끝단 면을 검출한 결과는 그림 9와 같다.



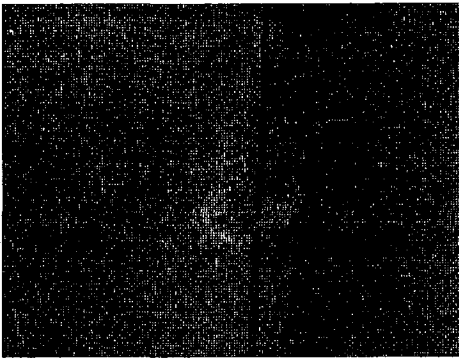
(a) 실제 영상.  
(a) Actual image.



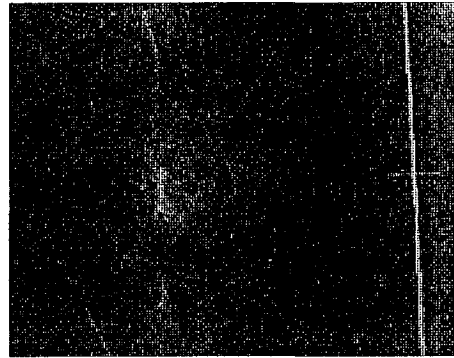
(b) 화상처리결과.  
(b) Result of image processing.

그림 8. 고정형 카메라로 검출한 화상.

Fig. 8. Image from the floor mount camera.



(a) 실제 영상.  
(a) Actual image.



(b) 화상처리결과.  
(b) Result of image processing.

그림 9. 이동형 카메라로 검출한 화상.

Fig. 9. Image from the camera on the robot wrist.

압연코일의 중심 위치가 학습된 위치  $C_a$ 에 대한 이미지 플레인 점  $p_a$ 와 식 (15)로부터 구한  $\theta_s$ 에 대한 데이터는 표 1과 같다.

표 1. 압연코일의 위치와 방향 검출 결과.

Table 1. Result of the center and direction of the coils.

$(x_c)$	$(y_c)$	$(\theta_s)$
256.0	157.9	0 : 일정

따라서 구현한 로봇 시각 장치 시스템의 실제적인 라벨링 장면은 그림 10과 같다.

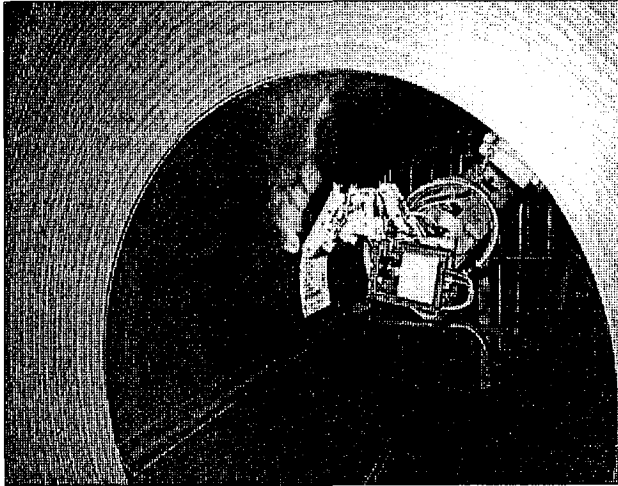


그림 10. 로봇 시각 장치 시스템을 이용한 실제 라벨링 장면

Fig. 10. Actual labeling using robot vision system.

## 2. 기존 시스템과 비교

大分시스템을 설치한 제철소와 본 시스템을 설치한 제철소에 대한 자동화 선결 조건은 표 2와 같이 비교하고, 시스템에 대한 운용 방법과 메커니즘은 표 3과 같이 비교하였다.

표 2. 자동화 선결 조건 비교.

Table 2. Comparison of the automatic condition.

항 목	국내 제철소	大分 제철소
압연코일의 감기는 시작부 벌어짐	$\pm 10 \sim \pm 15 \text{ mm}$	$\pm 10\text{mm}$ 이내
압연코일의 끝단부가 벌어짐	$\pm 100\text{mm}$ 이내	$\pm 30\text{mm}$ 이내
컨베이어 위에서 틀어지는 정도	$\pm 100 \sim \pm 120\text{mm}$	$\pm 100\text{mm}$ 이내
컨베이어 반복 위치 정밀도	$\pm 5 \sim \pm 35\text{mm}$	$\pm 20\text{mm}$ 이내

그 결과 본 시스템을 설치한 제철소의 자동화 선결 조건이 열악함에도 불구하고 다음과 같이 보다 장점이 많은 시스템으로 구현할 수 있었다.

- ① 압연코일 내부에 로봇이 진입할 때 본 시스템과 달리 大分시스템은 상위 컴퓨터로부터 사전에 중앙 위치에 대한 정보를 받아야만 진입할 수 있다.
- ② 大分시스템은 시작면을 검출할 때 그림 11과 같이 거리 측정 범위가 80 mm인 2개의 레이저센서(X, Y)로 거리 차이를 검출한다. 따라서 울퉁불퉁한 굴곡이 여러개 있을 때 엉뚱한 장소를 찾을 수 있고, 1.2 mm 이하의 얇은 강판으로 감겨 있을 때는 검출 자체가 안 될 수 있다.
- ③ 大分시스템은 상위 컴퓨터로부터 라벨링을 위한 로봇 자세, 거리 등에 대한 데이터를 받아야만 작업을 할 수 있다. 따라서 매번 새로운 압연코일의 진입에 따른 시스템 운용이 복잡하며 불필요한 동작이 많다.

표3. 大分시스템과 운용 방법 및 메커니즘 비교.  
Table3. Major difference from the Daihen(大分) system.

항 목	개발한 시스템	大分 시스템
라벨분리	타임벨트에 의한 장력을 이용하므로 기계적 무리가 발생	별도의 유니트를 이용하므로 보다 넓은 라벨 적용에 용이
라벨부착	엔드 이펙트에 부착된 흡착판과 실리콘 고무 롤러를 이용	엔드 이펙트에 부착된 스프링의 탄력과 고무 롤러를 이용
부착매수	최대 3매	최대 2매
사이클타임	215초이내 (3매 부착)	180 초이내 (2매 부착)
로봇운용	고정형으로 운용	로봇이동은 트랙모션을 이용
제어방식	가변프로그래밍(지능화시스템)	가변프로그래밍

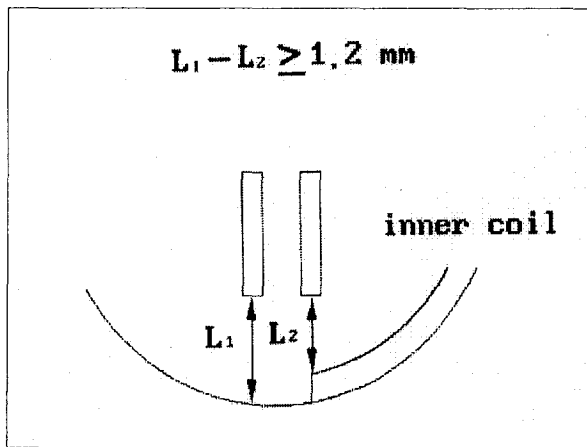


그림 11. 大分시스템의 레이저센서.  
Fig. 11. Laser sensor for Daihen(大分) system.



## V. 결 론

본 연구는 제철소에서 주문품으로 생산되는 압연코일에 라벨을 부착하는 작업의 자동화를 국내에서 처음으로 시도하여 완전한 자동화 시스템으로 구현하였다.

본 시스템을 생산 현장에 설치 시운전 완료하여 사용자에게 인계한 결과 성력화 면에서 4개의 자동화 시스템에 3교대를 하는 전체 작업자 48명중 라벨링을 전담하던 12명의 작업자를 효용성이 높은 다른 작업장으로 배치할 수 있었다. 또한 나머지 32명의 작업자들이 3,200시간을 주·야로 이상 발생 횟수와 발생 시간을 조사한 결과 99.97%의 성공률을 보여 안정되고 신뢰성이 높은 자동화 시스템임을 입증할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. E. Price., "Matching Closed Contours," *Proc. 7th Int. Conf. on Pattern Recognition*, pp. 990-992, July-Aug. 1984.
- [2] Hu, M. K., "Vision Pattern Recognition by Moments Invariant," *IRE Transactions on Information Theory*, vol. 8, 2, pp. 179-187, 1962.
- [3] 이 용중, "컴퓨터비전을 이용한 로봇의 기하학적 자세 보정", 울산 대학교 박사 학위 논문, 1995.
- [4] 多摩川精機(株) 福島史明, "汎用ロボットを用いた ラベル自動貼付 システムの特長," *月刊自動化技術*, 第 24巻, 第 11號, pp. 73- 77, 1992.
- [5] 熱延コイル, 라벨 貼付 로봇 製作仕様書, 多摩川精機(株).
- [6] W. P. Cheung, C. K. Lee, and K. C. Liaccv, "Brightness Invariant Multi-Threshold for Grey Level Template Matching," *'93 Asian Conference on Computer Vision*, Nov. 23-25, OSAKA, JAPAN.
- [7] Eschbach, R. and Knox, K., "Error-Diffusion Algorithm with Edge Enhancement," *journal of the optical society of America*. vol. 8, no. 12, pp. 1844-1850, Dec. 1991.
- [8] Prewitt, J. M. S., *Object Enhancement and Extraction*, pp. 75-150. Academic Press, New york.