

열간압연 공정을 위한 鐵片검출 시스템 개발

김종철[†] · 권대길 · 한민홍

고려대학교 산업시스템정보공학과

Development of a Crop Drop Detection System for Heated Rolling Process of Steel Mill

Jong-Chul Kim · Tai-Gil Kwon · Min-Hong Han

Department of Industrial Engineering, Korea University, Seoul, 136-701

In a heated rolling process of a steel mill where steel plates are pressed to a sheet coil by spreading and expanding, an irregularly-shaped head portion as well as a tail portion of the sheet coil need to be cropped. Any crop which is not clearly cut and separated from the sheet coil may cause critical damages to the facilities of the following processes. As the cropping process is performed very fast, human eyes are not proper for continuous monitoring of the cropping process. To solve this problem, we have developed a machine-vision based crop-drop detection system. The system also measures lengths of major and minor axes for the crops and thereby determines the proper crop size to minimize steel sheet losses.

Keywords: crop detection, image recognition

1. 서론

철강에는 연성과 전성이 있으므로 힘을 가하면 상온에서도 길게 늘이거나 얇게 넓힐 수가 있으며 붉게 변할 때까지 가열하면 상온에서 작업하는 것보다 쉽게 형태를 바꿀 수 있다. 이와 같은 특성을 이용하여 사용목적에 맞도록 편리한 모양으로 가공하게 되는데 철강산업에서는 이러한 과정을 열간압연 공정이라 한다. 이렇게 열간압연 공정상에서 강을 늘려서 평평하게 만들다 보면 강판의 앞부분과 뒷부분의 모양이 비정상적인 형태로 늘어나기 때문에 이를 절단해 주어야 한다. 이러한 절단 작업은 크롭시어(Crop Shear) 장치에서 이루어지며 잘려나간 강판조각을 크롭(Crop)이라고 한다. 이렇게 절단된 크롭은 통로를 거쳐 다시 슈트(Chute) 내로 떨어지는 공정을 반복하게 된다. 그리고 이러한 공정을 반복하다 보면 크롭이 통로에 걸리는 설비사고나 크롭의 절단면이 직선형태로 잘리지 않는 문제점이 발생하게 된다. 그래서 항상 작업자가 절단 공정 상황을 모니

터링하면서 이러한 돌발상황에 대하여 신속하게 대처해야 한다. 그런데 이러한 절단 및 낙하 공정은 2초 이내의 짧은 시간에 일어난다. 그래서 기존의 감시 카메라를 통한 육안 식별이나 센서 장비를 사용한 인지 등의 방법만으로는 작업자가 크롭의 절단형태 및 낙하상태를 정확하게 모니터링할 수가 없어 막대한 손실을 초래해 왔었다.

따라서 본 실험논문에서는 이러한 열간압연 공정 설비상의 문제점을 보완하고 설비사고를 미리 예방할 수 있는 크롭 낙하 검출 시스템을 제안하고자 한다. 제안된 시스템은 열간압연 공정의 입측 크롭시어(Crop Shear)에서 절단된 크롭 영상을 CCD 카메라로 입력받아 영상분석방법을 이용하여 크롭의 낙하 및 절단상태를 모니터링하였다.

모니터링 중에 크롭의 낙하불량 및 절단불량 출현 시에는 사 이렌을 통하여 작업자에게 미리 알려주어 설비사고를 사전에 예방할 수 있게 하고 크롭 영상의 형태를 분석하여 절단면과 그 법선의 길이를 측정해서 강판손실을 최소화하는 크롭의 최

[†]연락처 : 김종철, 136-701 서울시 성북구 안암동 5가 1번지 고려대학교 공학관 552호 고려대학교 산업시스템 정보공학과

Fax : 02-929-5888, e-mail : onekid@korea.ac.kr

2003년 1월 접수, 2회 수정 후 2003년 5월 게재 승인

적절단위치를 결정하는 백업자료를 제공하였다.

2. 전체 시스템 구성 및 작업절차

본 논문에서 제안한 시스템은 크게 하드웨어 시스템과 이러한 하드웨어와 연동되는 영상처리 시스템으로 나눌 수 있다.

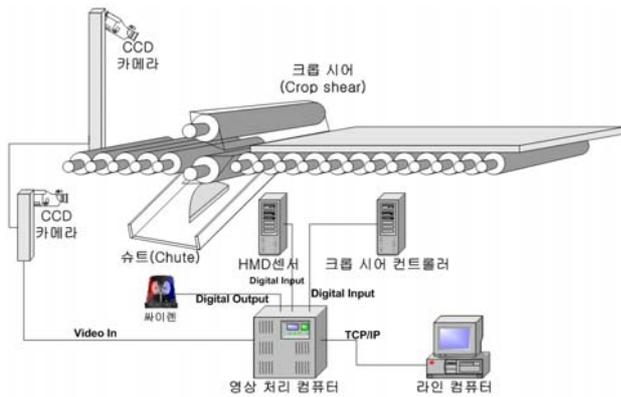


그림 1. 하드웨어 구성.

<그림 1>에서 하드웨어 시스템은 작업절차에 따라 열연강판이 최초 크롭시어 쪽으로 이동할 경우 라인 컴퓨터에서 열연 코일의 강중 및 두께, 폭에 대한 정보를 TCP/IP 통신을 통해서 보내준다. 뒤를 이어 크롭시어 컨트롤러에서 크롭이 절단되기 3초 전에 절단준비신호를 영상처리 컴퓨터로 보낸다. 준비신호를 받은 영상처리 컴퓨터에서는 실제 크롭이 절단되어 통로를 따라 슈트(Chute) 내로 떨어지는 영상을 2대의 CCD 카메라로부터 실시간으로 입력받는다. 그 후 실제 크롭이 슈트(Chute) 내로 떨어졌을 경우에는 HMD 센서로부터 낙하신호를 입력받게 된다.

<그림 2>는 하드웨어 시스템과 연동되는 영상처리 시스템에 대한 작업절차를 보여주고 있다. 이러한 시스템 작업절차는 강판의 머리부와 꼬리부에서 각각 한 번씩 처리되며 새로운 강판이 작업될 때마다 처음부터 다시 시작하게 된다.

영상작업 순서는 동시에 입력되는 2개의 영상들 중 상부 카

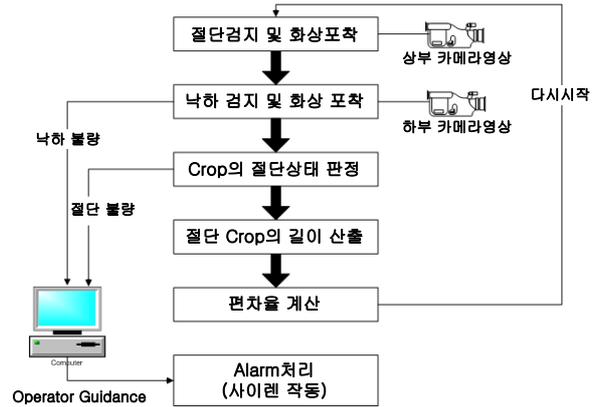


그림 2. 영상처리 시스템 작업절차.

메라의 영상을 먼저 분석하여 크롭의 절단시점을 판단하여 화상을 포착한 후 하부 카메라의 영상에서 크롭의 낙하 유무를 검지한다. 만약 상부 카메라에서 절단영상이 검지된 후 5초 이상 크롭 낙하가 미검지되거나 크롭 낙하를 검지하여 화상을 포착했으나 HMD 센서로부터 낙하신호가 오지 않을 경우에는 낙하 불량이라고 판단하여 사이렌을 이용해 작업자에게 경고를 보내주게 된다. 만약 크롭을 검지한 경우에는 낙하검지가 포착한 스틸 영상을 근거로 크롭의 절단면을 검출하여 절단상태를 판단하게 된다. 판단하는 과정에서 절단면이 직선형태로 잘렸는지를 검사하여 만약 절단면이 직선형태로 잘리지 않았을 경우에는 절단불량으로 판정하여 작업자에게 경고를 하게 되며 직선형태로 잘렸을 경우에는 크롭의 장축과 단축에 대한 길이를 산출하여 크롭의 최적 절단길이에 대한 편차율을 계산하게 된다.

3. 영상분석 알고리즘

3.1 강판 절단시점 판단

본 논문에서는 강판의 절단시점을 판단하기 위해 배경과 물체에 대한 명도차이를 이용하였다. 강판의 절단영상에는 통로

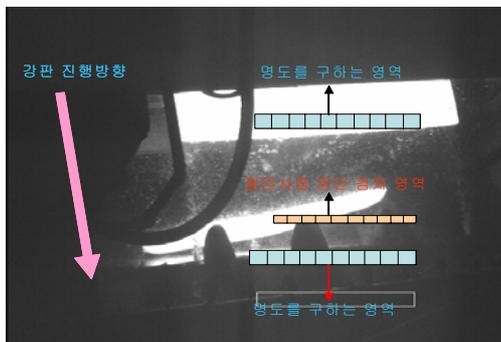


그림 3. 강판의 머리부분 절단영상.

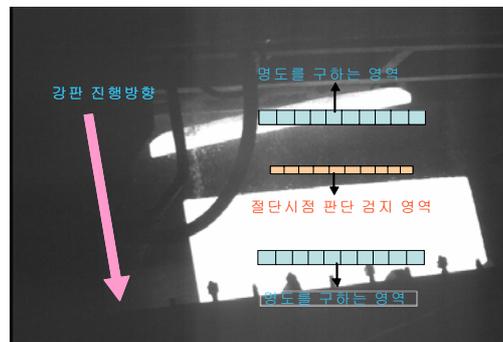


그림 4. 강판의 꼬리부분 절단영상.

와 강판만이 존재하는데 통로는 검은 색을 띄고 강판은 붉은 색을 띄게 되어 강판이 통로보다 상대적으로 높은 명도를 띄게 된다. 이러한 명도차이를 이용하여 강판의 머리부와 꼬리부의 절단영상에 비슷한 알고리즘을 적용할 수 있었다.

강판의 머리부분이 절단되는 시점은 아무것도 없는 검은 공간에 강판이 위에서 아래로 진입하는 순간이다. 이 순간에는 <그림 3>에서처럼 “절단시점 판단 검지영역”과 상대적으로 명도가 높은 크롭이 서로 교차하는 영역이 생긴다. “절단시점 판단 검지영역”의 위치는 크롭이 잘려 나갈 때 항상 검지영역과 교차하도록 설정하였으며 교차영역이 생기는 시점을 강판이 절단되는 시점이라고 판단하였다. 교차영역의 특징은 크롭이나 강판이 지나가지 않은 영역보다 명도값이 상대적으로 크다는 것이다. 이러한 명도의 차이를 이용하기 위해서 본 연구에서는 교차영역과 비교할 임계값 설정이 필요하였다. 임계값은 “절단시점 판단 검지영역”보다 명도가 작고 주변 영상의 밝기를 고려해야 하기 때문에 크롭이나 강판이 가장 마지막에 지나가는 <그림 3>의 아래 영역에 “명도를 구하는 영역”의 위치를 설정하여 임계값이 설정되도록 했다.

식 (1), 식 (2)는 임계값과 검지영역의 명도값을 수식으로 정의하고 있으며 $C > T$ 일 경우를 강판의 머리부분이 절단되는 시점이라고 판단할 수 있다.

$$T = \text{MAX}(L_1 - L_n) * 1.2 \quad (1)$$

$$C = \text{MAX}(D_1 - D_n) \quad (2)$$

$L_1 - L_n$: 아래쪽 명도 검지영역의 평균값들

$D_1 - D_n$: 절단 검지영역의 명도의 평균값들

T : 임계값

C : 검지영역의 명도값

식 (1)에서 임계값 T 는 n 개의 영역으로 나눈 “절단시점 판단 검지영역”의 평균명도 중 최대값에 특정 상수 1.2를 곱해준다. 최대값을 구하고 상수 1.2를 곱해주는 이유는 강판이 진입하지 않아 전체가 검은 화면상에서 검지영역의 명도값 C 가 임계값 T 보다 큰 값을 가져 머리부분의 절단시점이라고 잘못 판단하는 가능성을 줄이기 위해서이다. 검지영역의 명도값 C 는 n 개로 나뉜 검지영역에서 최대값을 산출하게 되는데 여기서 산출한 값은 <그림 3>의 “절단시점 판단 검지영역”과 크롭이 교차하는 영역에서의 가장 큰 값이 된다. 교차영역 중 가장 큰 명도값을 C 로 설정하는 이유는 C 가 임계값 T 보다 클수록 절단검지 조건인 $C > T$ 를 좀더 만족하게 되어 오판할 가능성이 적어지기 때문이다.

강판의 꼬리부분이 절단되는 시점은 명도가 높은 강판이 화면을 가로질러 화면의 아래방향으로 사라지는 때이다. <그림 4>에서 사라지는 순간의 “절단시점 판단 검지영역”은 크롭과 강판이 서로 분리되는 위치에 존재하게 되며 검지영역의 명도값이 크롭이나 강판에 비해 순간적으로 낮아지게 된다. 이 점

을 이용하여 꼬리부분의 절단시점을 판단하기 위해서는 검지영역보다 명도가 높은 강판영역의 임계값이 필요하게 된다. 결국 <그림 4>에서 보이는 것처럼 강판이 가장 마지막까지 지나가는 그림의 아래영역에 명도를 구하는 영역이 위치하게 된다. 강판은 재질과 온도에 따라 강판의 명도값이 특정 영역에 따라 서로 달라지기 때문에 임계값을 결정하는 데 많은 어려움이 있다. 따라서 방해요소를 해소하고 적절한 임계값을 결정하기 위해 <그림 4>처럼 위쪽에도 명도를 구하는 영역을 하나 더 두어 임계값을 구하는 후보영역으로 사용하였다.

식 (3), 식 (4)는 임계값과 검지영역의 명도값을 수식으로 정의하고 있으며 $C < T$ 일 경우를 강판의 꼬리부분이 절단되는 시점이라고 판단한다.

$$T = \text{MAX}(L_1 - L_n) * 0.75 \quad (3)$$

$$C = \text{MAX}(D_1 - D_n) \quad (4)$$

$L_1 - L_n$: 위쪽, 아래쪽 명도 검지영역의 평균값들

$D_1 - D_n$: 절단 검지영역의 명도의 평균값들

T : 임계값

C : 검지영역의 명도값

식 (3)의 임계값 T 는 $2n$ 개의 영역으로 나눈 2개의 “명도를 구하는 영역”의 평균 명도값들 중 최대값에다 상수값 0.75를 곱한 값이다. 여기서 최대값이 의미하는 것은 $2n$ 개의 영역 중 가장 밝음이 없고 밝은 강판의 평균 명도를 말한다. 최대 명도값에 상수 0.75를 곱하여 사용하는 이유는 강판이 진입해서 일정시간 동안 화면의 상하 전체를 동시에 지나가는 경우를 고려하기 위해서이다. 강판이 상하 전체를 지나가는 경우에는 검지영역의 명도값 C 가 임계값 T 보다 작아지면서 절단시점이라는 오판을 할 가능성이 있다. 이러한 가능성을 명도값에 상수 0.75를 곱함으로써 줄이고자 했다. 그리고 여기에 사용된 C 또한 n 개의 검지영역의 평균 명도값들 중 최대값을 선택함으로써 밝음에 의해 C 값이 임계값 T 보다 작아져 꼬리부분 절단시점이라고 오판을 할 수 있는 가능성을 줄이도록 했다.

식 (1), 식 (2)에 사용된 n 의 값과 그에 해당하는 <그림 3, 4>에서의 “명도를 구하는 영역”과 “절단 검지영역”의 크기는 잡음의 영향을 많이 받지 않고 효율적인 검지판단을 위해서 적절한 값과 크기를 정해 주어야 한다. 본 논문에서는 현장실험에 의해서 n 의 값은 10으로 정하고 검지영역의 크기는 <그림 3, 4> 정도의 크기로 설정하였다.

3.2 크롭 낙하시점 판단

보통 크롭이 지나가는 통로는 매우 어둡고 크롭은 매우 밝은 특징을 가진다. 따라서 통로와 크롭의 명도차이를 이용한다면 크롭의 낙하시점도 쉽게 구할 수 있다

<그림 5>는 크롭이 순간적으로 낙하하는 영상을 보여주고

있다. 이때 “낙하시점 판단 검지영역”과 크롭이 교차하는 부분이 발생한다. 이러한 교차영역의 특징은 크롭이 낙하기 이전의 프레임 영상들과 비교할 때 상대적으로 명도값의 차이가 크다는 것이다. 교차영역에서 발생하는 명도값의 차이를 인지하기 위해서는 교차영역과 비교할 임계값의 결정이 중요하게 되는데 강판의 재질이나 온도에 따라 크롭 영상의 전체 밝기가 변하기 때문에 임계값은 입력되는 영상의 명도 변화에 따라 다르게 설정해야 한다. 그래서 본 논문에서는 크롭은 강판에서 잘리는 순간의 조각이라는 점을 감안하여 3.1절의 <그림 3, 4>에서 위치한 2개의 “명도를 구하는 영역”에서 구한 가장 큰 명도값에 0.6을 곱한 값을 임계값으로 사용하였다. 명도값에 상수 0.6을 곱한 이유는 주변의 검은 통로보다는 크고 크롭보다 작은 명도값을 임계값으로 설정하기 위해서이다.



그림 5. 크롭 낙하 영상.

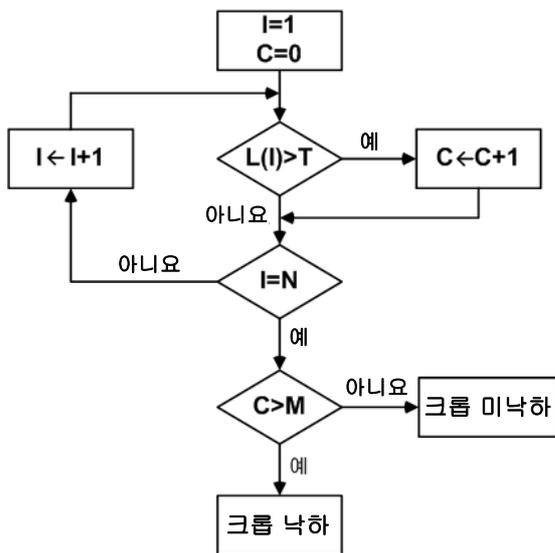


그림 6. 크롭 낙하시점 판단 알고리즘 절차.

- T : 임계값(강판 절단 시점에서 사용된 명도값 * 0.6)
- N : 검지영역의 개수
- C : 검지영역에서 검지된 개수
- $L(I)$: N개의 검지영역의 평균 명도값
- M : 검지영역에서 검지된 개수(C)와 비교할 임계값

<그림 6>은 임계값과 검지영역에 따른 크롭 낙하시점 판단 알고리즘 절차를 나타내고 있다.

위 알고리즘 절차에 따르면 <그림 5>와 같이 낙하시점을 판단하는 검지영역은 N개의 세부 영역으로 나누고 각 영역의 화소에 대한 평균 명도값을 구한다. 이러한 N개의 평균 명도값들 중에서 M개 이상 임계값보다 클 경우를 크롭 낙하시점이라고 판단한다. 여기서 M값은 민감도 조절을 위해서 사용될 수 있는데 만약 M값을 크게 하면 민감도가 떨어져 크롭영상이 <그림 5>의 화면 오른쪽에서 포착되지만 이와 반대로 M이 0에 가까울수록 크롭 영상이 <그림 5>의 화면 왼쪽에서 포착되는 결과를 가져온다. 그렇기 때문에 크롭이 화면 중앙에서 포착될 수 있도록 신중하게 M값을 설정해야 한다. 따라서 본 논문에서는 검지영역의 개수 N을 80으로 고정된 상태에서 현장실험을 통하여 M의 값을 3으로 설정했을 때 크롭을 중앙에서 포착할 수 있었다.

3.3 크롭 절단불량 검출 및 편차율 산출

강판의 크롭영상을 분석하는 목적은 크게 2가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 크롭 시어에서 잘려나간 절단면을 검지하고 제대로 잘렸는지를 검사하는 것이고 두 번째는 영상처리를 이용해 크롭의 장축과 단축을 구하여 크롭의 종류에 따른 최적 절단 데이터를 제공하는 것이다. <그림 7>은 크롭의 전체 영상처리 절차를 나타내고 있다.



그림 7. 크롭 영상처리 절차.

3.3.1 왜곡보정

CCD 카메라로부터 받은 영상은 일반적으로 <그림 8>과 같이 방사형 왜곡(Radial Distortion)현상이 나타나게 된다. 특히, 본 논문에서 이러한 왜곡현상은 크롭의 길이를 계산할 때 영향을 미치게 되므로 보정해 주어야 한다. 방사형 왜곡 현상은 <그림 9>에서 보는 바와 같이 왜곡된 부분과 정상각형 위의 점들 간의 매칭을 통해서 보정할 수 있다(Richard Hartley and Andrew

Zisserman, 2000).

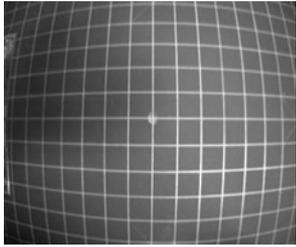


그림 8. 원시 영상.

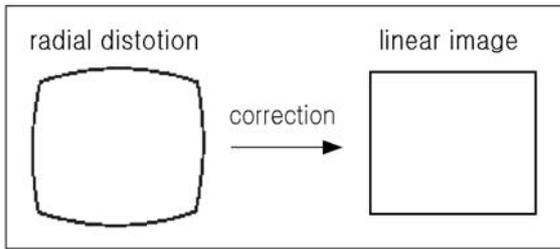


그림 9. 방사형 왜곡보정.

식 (5)에서, (x, y) 는 입력받은 영상에서 화면 위 픽셀의 위치 좌표값을 측정된 값이고, (\hat{x}, \hat{y}) 는 실제 위치와의 매칭을 통해 보정된 값을 나타낸다. 그리고, (x_c, y_c) 는 왜곡된 화면의 중심점을 나타내고, $L(r)$ 은 왜곡된 점을 보정하기 위한 왜곡 함수(Distortion Function)를 나타낸다. 왜곡된 화면의 한 점 (x, y) 는 왜곡된 화면의 중심 (x_c, y_c) 로부터 반지름 r 인 원 위에 존재하게 된다.

$$\begin{aligned} \hat{x} &= x_c + L(r)(x - x_c) \\ \hat{y} &= y_c + L(r)(y - y_c) \\ r^2 &= (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 \end{aligned} \quad (5)$$

이 때, 왜곡함수 $L(r)$ 은 식 (6)과 같은 다항식으로 가정한다면,

$$L(r) = 1 + k_1r + k_2r^2 + k_3r^3 + \dots \quad (6)$$

coefficients : $\{ k_1, k_2, k_3, \dots, x_c, y_c \}$

<그림 8>처럼 바둑판 모양의 영상에서 왜곡된 화면 위의 점 (x, y) 와 보정된 화면의 점 (\hat{x}, \hat{y}) 좌표값의 조합을 구한 다음, 이들 데이터를 이용해서 왜곡함수 $L(r)$ 의 계수값(coefficients)을 통계적으로 추정치를 구하였다.

3.3.2 이진화

크롭 영상의 정확한 형태를 분석하기 위하여 입력된 영상을 0과 255로 이진화 하였다. 이진화 알고리즘은 입력되는 영상특징에 따라 적절한 것을 선택해야 하는데 여기서는 히스토그램에서 산 사이 계곡에 해당하는 명도점을 이진화의 임계값으로 이용하는 모드법 이진화 알고리즘을 이용하였다(김우성, 1997). 모드법 이진화 알고리즘은 물체와 배경이 비교적 뚜렷하게 구별되는 영상을 이진화할 때 좋은 효과를 낼 수 있다.

3.3.3 잡음제거

이진화된 영상은 크롭 주변의 수증기와 온도변화에 의해 배경에는 흰색 잡음이 발생하고 크롭에는 검은 색 잡음이 발생한다. 이러한 잡음은 영상분석 결과에 오류를 발생시킬 수 있으므로 제거해야 한다. 배경과 크롭의 잡음을 동시에 제거하기 위해서 본 연구에서는 모폴로지 기법을 사용하였다(Gonzalez and Woods, 1998). 배경의 흰색 잡음은 열림연산으로 제거하고 크롭의 검은 색 잡음은 닫힘연산으로 처리하였다.

3.3.4 영역검출

배경의 잡음이 완전히 제거되지 않았을 때 전체 영역에 대해서 영상처리를 하는 것은 수많은 오류를 제공할 뿐만 아니라

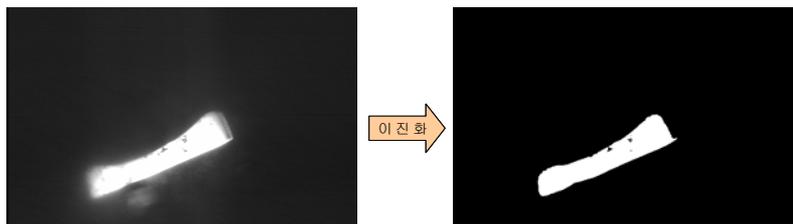


그림 10. 이진화 처리 영상.

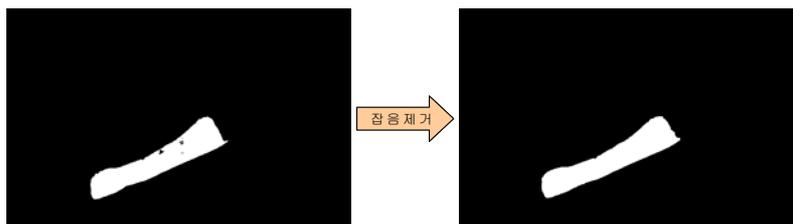


그림 11. 잡음제거 영상.

정확한 영상정보를 얻기 위한 별도의 노력이 필요로 한다. 따라서 정확한 영상정보를 얻기 위해서는 전체 영역을 영상처리하지 않도록 영상처리가 필요한 크롭 영역만을 검색할 수 있어야 한다. 크롭 영역을 검색할 때에는 전체 영역에 대해서 검색을 하면 많은 시간이 소요되므로 <그림 12>와 같이 일정한 간격의 격자 영역들만 샘플링하여 검색한다.

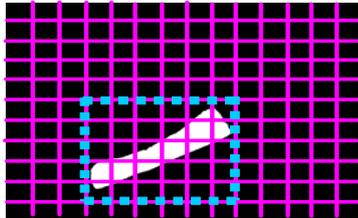


그림 12. 크롭 영역 검출.

3.3.5 절단면 검출

정상적으로 절단된 크롭의 절단면은 직선의 형태를 가진다. 따라서 영상검색 중 직선선분만을 검출하는 것이 가능하다면 크롭의 절단면도 쉽게 구할 수 있다. 일반적으로 직선을 구하는 알고리즘에는 허프 변환 알고리즘이 있다(이하운, 박찬준, 2000), 그러나 이 알고리즘은 화면 전체에 존재하는 모든 직선선분을 구하기 때문에 처리시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 빠른 시간 내에 절단불량 판단을 해야 하는 실험의 특성상 위의 알고리즘은 사용할 수가 없었다. 그래서 본 논문에서는 크롭의 절단면을 좀더 빠르게 검출하고 절단면의 직선성분이 얼마나 직선에 가까운지를 판별할 수 있도록 통계적인 방법인 단순회귀분석을 이용하였다.

단순회귀분석의 순서는 우선 <그림 13>, <그림 14>처럼 크롭의 왼쪽, 오른쪽, 위, 아래 4방향에 대해서 일정한 간격의

에지점들을 구한다.

이러한 점들은 통계적 모형에서 산점도로 취급할 수 있으며 각 점 n개의 좌표값(x_i, y_i)으로부터 식 (7)과 같은 통계식으로 정의할 수 있다(김우철, 박성현, 1982).

식 (7)에서 e_1, e_2, \dots, e_n 은 미지의 오차항으로서, 측정될 수 없는 확률변수이며 정규분포 $N(0, \sigma^2)$ 를 따르며 서로 독립이다. 회귀모수 α, β 는 최소자승법을 이용하여 식 (10)으로부터 추정할 수 있다. 식 (11)의 SSE는 오차로 인한 제곱의 합이며 $(y_i - \bar{\alpha} - \bar{\beta}x_i)$ 은 잔차(residual)라고 한다. 이 잔차의 값이 작으면 작을수록 식 (10)의 최소 제곱회귀식 $\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}x$ 는 직선방정식인 $y = \alpha + \beta x$ 를 나타내고 x와 y 사이에는 밀접한 직선관계가 있다고 할 수 있다.

$$y_i = \alpha + \beta x_i + e_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i \quad (8)$$

$$S_x^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2, \quad S_y^2 = \sum (y_i - \bar{y})^2, \quad S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (9)$$

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta}\bar{x}, \quad \hat{\beta} = \frac{S_{xy}}{S_x^2}, \quad \hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}x \quad (10)$$

$$SSE = S_y^2 - \bar{\beta}^2 S_x^2 = \sum (y_i - \bar{\alpha} - \bar{\beta}x_i)^2 \quad (11)$$

<그림 13>, <그림 14>에서와 같이 4가지 방향의 산점도에 대한 좌표값이 주어지면 위 수식을 이용해 4개의 직선회귀식을 구할 수 있으며 이들 중 SSE가 가장 작은 면을 절단면이라고 판단할 수 있다. 만약 절단면 중 SSE값이 0에 근접할수록 완전한 직선선분이 되며 크롭 절단이 성공했다고 볼 수 있으며 그 반대로 SSE값이 특정 임계값보다 크면 클수록 직선에 가깝지

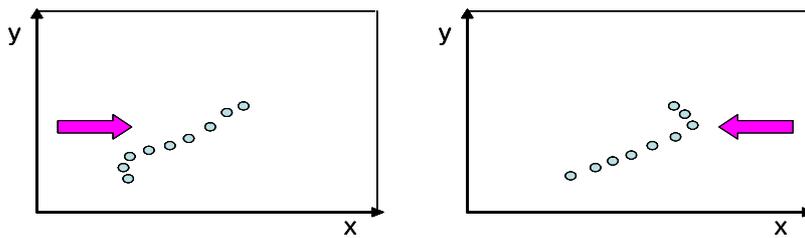


그림 13. 왼쪽, 오른쪽의 크롭 에지점.

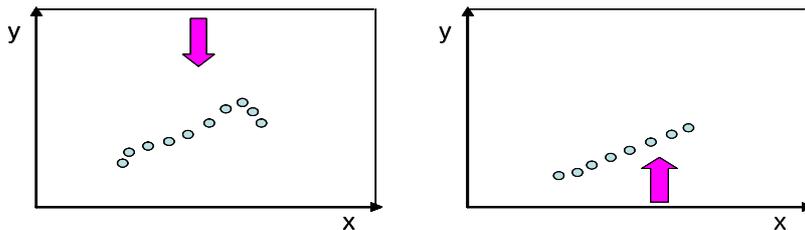


그림 14. 위, 아래의 크롭 에지점.

않으므로 크롭 절단이 실패했다고 볼 수 있다. 임계값은 공정 특성에 따라 달라질 수 있으며 본 논문에서는 0.000005를 사용하였다.

3.3.6 장축, 단축 검출

크롭의 4면 중 절단면이 정해지면 직선성분에 대하여 일정한 간격으로 절단면과 수직인 법선을 그어준다. <그림 15>의 크롭 절단면 직선성분은 장축으로 인식하며, 단축이 존재할 수 있는 법선영역($E_1 - E_2$)에서 가장 짧은 법선을 단축으로 인식한다. 단축을 구하기 위해 사용한 크롭 예지로부터의 거리 E_1, E_2 는 대략적으로 장축의 10% 정도의 길이로 정의한다.

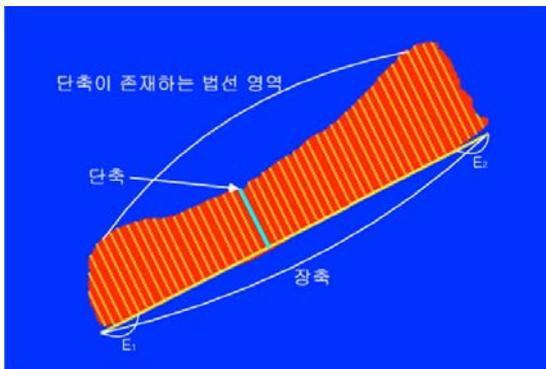


그림 15. 장축, 단축 검출.

3.3.7 좌표보정

영상처리를 통해 검출된 크롭 영상의 길이 단위는 픽셀이다. 이것은 실제 크롭의 길이 단위와 다르기 때문에 <그림 16>과 같이 카메라의 초점에 따라 화면과 실제 XY 평면상의 관계를 3D 변환을 통해 실제 XY 평면상의 단위인 센티미터 좌표계로 변환하였다(원운재, 2001).

<그림 16>의 3D 변환은 수직방향과 수평방향으로 나누어 계산하여 쉽게 계산할 수 있다. <그림 17>은 수직방향의 변환

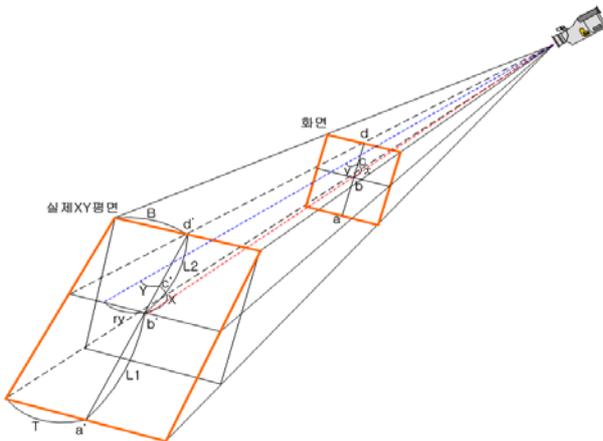


그림 16. 3D 변환.

을 나타낸다. 점 a, b, c, d는 입력받은 영상의 화면 위의 점이고, 점 a', b', c', d'는 실제 XY 평면상의 점이다. 식 (12)는 불변량 이론(Invariant Theory)에 의해서 Cross Ratio Invariant 값을 나타낸다 (Milan Sonka and Vaclav Hlavac, 1999).

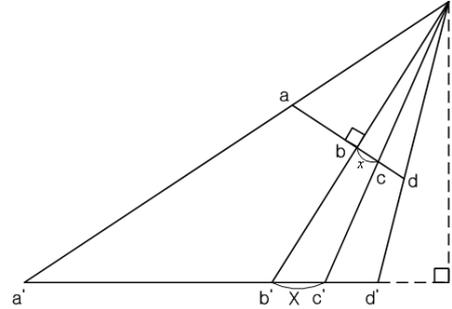


그림 17. 수직방향 변환.

$$I = \frac{(a-c)(b-d)}{(a-d)(b-c)} = \frac{(a'-c')(b'-d')}{(a'-d')(b'-c')} \quad (12)$$

$$(b-c) = x(x > 0), (a-d) = S \quad (13)$$

$$(a'-b') = L_1, (b'-d') = L_2, (b'-c') = X \quad (14)$$

식 (12)에 식 (13), 식 (14)의 식을 대입하면 화면상의 x 좌표값에 따른 실제 XY 평면상의 X 좌표값을 구할 수 있는 수식이 된다. 이렇게 구한 수식은 x 값을 기준으로 두 가지 형식으로 표현되는데 식 (15)는 x 가 양수일 때의 경우이고 식 (17)은 x 가 음수일 때의 정의식이다. 그러나 최종 변환식은 x 의 부호와 상관없이 식 (16), 식 (18)처럼 동일한 수식으로 표현된다.

$$x > 0, \frac{(S/2+x) \cdot S/2}{S \cdot x} = \frac{(L_1+X) \cdot L_2}{(L_1+L_2) \cdot X} \quad (15)$$

$$X = \frac{4 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot x}{S \cdot (L_1+L_2) + 2(L_1-L_2) \cdot x} \quad (16)$$

$$x < 0, \frac{S/2 \cdot (S/2+x)}{S \cdot (-x)} = \frac{L_1 \cdot (L_1-X)}{(L_1+L_2) \cdot (-X)} \quad (17)$$

$$X = \frac{4 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot x}{S \cdot (L_1+L_2) + 2(L_1-L_2) \cdot x} \quad (18)$$

<그림 18>의 y 는 입력 받은 영상의 화면 위의 거리이고 T, X, Y, B, D, L_1, L_2 는 원근법에 의한 실제거리이다. X, L_1, L_2, S 의 값은 식 (13), 식 (14)에서 이미 정의되어 있다.

식 (19)와 식 (21)은 <그림 18>의 비례식 관계에 의해 구해진 것이다. 식 (20)은 화면상의 y 좌표값에 따른 실제 XY 상의 Y 좌표값을 구하는 수식이며 이때 D 는 원근법에 따른 초점에서 화면까지의 가상거리이다.

$$ry: Y = (L_2 + D) : (L_2 - X + D) \quad (19)$$

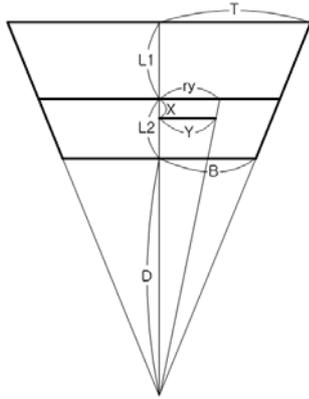


그림 18. 수평 방향 변환.

$$Y = r \cdot \frac{L_2 + D - X}{L_2 + D} \cdot y, \quad r = \frac{L_1 + L_2}{S} \quad (20)$$

$$B : T = D : (D + L_1 + L_2) \quad (21)$$

$$D = \frac{(L_1 + L_2) \cdot B}{T - B} \quad (22)$$

따라서 식 (16), 식 (18), 식 (20)을 사용하면 화면상의 (x, y)

픽셀 좌표값을 실제 XY 평면상의 (X, Y) 센티미터 좌표값으로 변환할 수 있어 실제 크롭의 길이를 구할 수 있다.

3.3.8 최적 절단길이 산출

영상분석에 의해서 산출된 장축과 단축의 길이 데이터는 강종과 날짜에 따라 일정기간 동안 최적 절단길이 산출을 위한 백업 데이터로 수집된다. 이렇게 수집된 데이터는 크롭시어 컨트롤러에 의해 설정된 값과 비교하게 되며 그 편차의 발생경향을 통계적으로 분석하여 편차 보정치를 구한다.

4. 실험 및 결과

본 실험에 사용된 CCD 카메라는 비교적 큰 명도를 가진 물체만 잡아낼 수 있도록 고안된 필립스사의 TM6701AN을 사용하였다. 그리고 열간압연 공정에서 발생하는 수증기량을 줄이기 위해 CCD 카메라 주변에 송풍기를 설치하였으며 큰 명도를 잡아내는 CCD 카메라 특성상 조명장치를 따로 설치하지 않았다. 영상처리 컴퓨터의 사양은 펜티엄III 933MHz에 운영체제는 윈도우즈 2000을 탑재하였고 영상처리 보드는 메트룩스사의 미

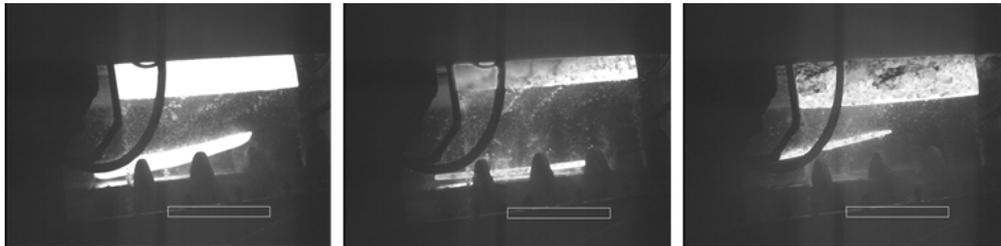


그림 19. 강판의 머리부분 영상.

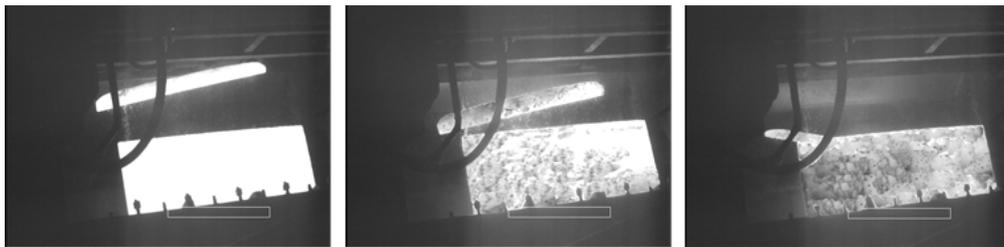


그림 20. 강판의 꼬리부분 영상.

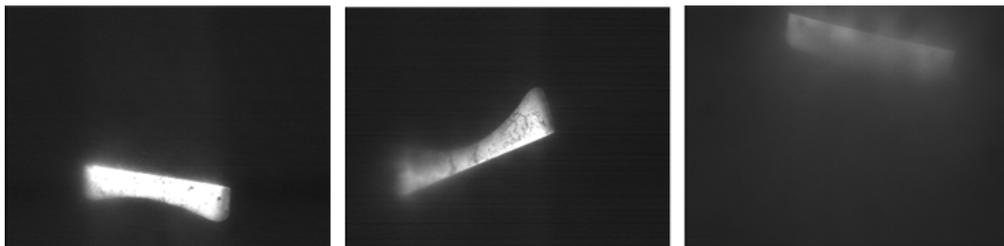


그림 21. 크롭 영상.

티어 II 보드를 사용하였다. 그리고 영상처리 알고리즘은 비주얼 C++ 6.0을 이용하여 구현하였다. 실험에 사용된 영상은 실제 제철공장의 열간압연공정 설비에 설치된 CCD 카메라에서 실시간으로 입력되어지는 640 X 480 크기의 영상자료를 전체 영상의 밝기와 잡음이 심한 정도에 따라 깨끗한 영상, 잡음이 있는 영상, 화질이 나쁜 영상으로 분류하여 각각 A, B, C 등급으로 나누었다. <그림 19>, <그림 20>, <그림 21>은 기준에 따라 육안으로 분류된 영상의 샘플들이다.

<표 1>은 상부 카메라에서 획득한 강판 영상을 가지고 테스트한 결과이다. 테스트 결과 비교적 모든 영상화질에 대해서 높은 인식률을 보였다. 그러나 머리부분에 비해 꼬리부분의 절단시점 판단인식률이 상대적으로 좋지 않은 결과를 보였다. 그 이유는 명도의 차이로 절단시점을 판단하는 크롭 절단시점 판단 알고리즘에서 꼬리부분의 영상보다 시각적으로 더 뚜렷하게 구별되는 머리부분 영상을 좀더 잘 인식하기 때문이라고 생각된다.

표 1. 강판영상 포착 실험결과

실험 영상	평가 항목		머리부분 절단영상 포착			꼬리부분 절단영상 포착			
	인식	오인식	인식률 (%)	인식	오인식	인식률 (%)	인식	오인식	인식률 (%)
A 등급	48	0	100.00	42	0	100.00			
B 등급	50	0	100.00	52	2	96.29			
C 등급	34	3	94.59	33	3	91.66			

<표 2, 3, 4>는 하부 카메라에서 획득한 크롭 영상을 테스트한 결과이다. <표 2>에서 크롭 낙하영상 포착에 대한 인식률은 영상등급에 상관없이 비교적 우수한 편이다. 하지만 <표 3>에서 보듯이 크롭의 장축과 단축의 검출에 대한 실험결과에 따르면 영상의 화질은 인식률에 많은 영향을 끼친다는 사실을 알 수 있다. 또한 장축을 오인식하는 원인에는 화질의 등급뿐만 아니라 3.3.5절의 절단면 검출 알고리즘에서 기술했듯이 크롭의 검출위치에 따라 절단면위치를 오판하는 경우도 이에 해당된다고 생각된다. 그리고 단축의 인식률이 장축보다 좋지 않은 이유는 장축의 인식 성공률에 의해 단축의 인식 성공률이 영향을 받는 알고리즘의 구조 때문이다.

<표 4>는 크롭의 절단불량과 낙하불량에 대한 실험결과이며 절단불량의 경우 크롭 영상을 토대로 절단면의 검출하는

표 2. 크롭 낙하영상 포착 실험결과

실험 영상	평가 항목		
	인식	오인식	인식률 (%)
A 등급	38	0	100.00
B 등급	42	0	100.00
C 등급	29	2	93.54

알고리즘 특성상 영상등급에 상당한 영향이 있음을 알 수 있다. 반면에 낙하불량의 경우는 크롭 영상뿐만 아니라 상부 카메라의 강판영상과 하드웨어 장비인 슈트(Chute) 신호와 같은 여러 가지 요인에 의해 낙하불량을 판단하므로 절단불량에 비해 영상등급에 크게 영향을 받지 않는다고 생각된다.

표 3. 크롭 장축, 단축 검출 실험결과

실험 영상	평가 항목			크롭 장축 검출			크롭 단축 검출		
	인식	오인식	인식률 (%)	인식	오인식	인식률 (%)	인식	오인식	인식률 (%)
A 등급	73	2	97.33	64	3	95.52			
B 등급	76	6	92.68	60	10	85.71			
C 등급	56	12	82.35	44	15	74.57			

표 4. 크롭 절단불량, 낙하불량 실험결과

실험 영상	평가 항목			크롭 절단불량			크롭 낙하불량		
	인식	오인식	인식률 (%)	인식	오인식	인식률 (%)	인식	오인식	인식률 (%)
A 등급	26	2	92.85	18	0	100.00			
B 등급	22	4	84.61	16	0	100.00			
C 등급	8	9	47.05	12	1	92.30			

<표 1 - 4>의 실험결과에 따르면 대체적으로 영상의 화질이 좋을수록 좋은 결과를 나타내고 있다. 이러한 실험결과에서 보여주듯이 모든 영상에서 좋은 인식률을 결정하는 가장 중요한 요소는 영상의 화질임을 알 수가 있다. 실험영상 중 화질이 나쁜 영상의 발생 원인은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 원인은 열연강판을 냉각할 때 뿌려지는 냉각수와 그 냉각수에 의해서 발생하는 수증기이다. 냉각수는 강판이나 크롭 영상에 검은 잡음을 발생시키며 수증기는 카메라 렌즈에 영향을 주어 크롭 영상 주변에 산발적인 잡음을 발생시킨다. 그리고 두 번째 원인은 강중에 따라 발생하는 강판의 온도차이로 인해 생기는 주변 밝기의 변화이다. 만약 CCD 카메라 조리개의 개폐 정도를 온도가 높은 알루미늄 강판에 최적으로 맞추어 놓았다면 알루미늄 강판에 비해 상대적으로 온도가 낮은 다른 강판들은 영상이 전체적으로 어두워 식별하기가 힘들기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서는 영상인식을 이용한 크롭 낙하검출 시스템 개발을 처음으로 제안하였다. 이것은 크롭의 절단 및 낙하 속도가 너무 빨라 기존의 설비장비만으로는 작업자가 정확하게 모니터링하기 힘들었던 문제점을 보완하여 작업공정을 자동화 하였다. 그리고 영상처리를 통해 수집된 장축, 단축 데이터의 편차를 분석하여 열연강판의 종류에 따른 최적 절단위치를 계산

할 수 있게 함으로써 향후에는 크롭 절단 실수에 따른 열연강판의 손실률을 줄여 생산원가를 낮출 수 있을 것이라고 예상된다. 그러나 아직 오판을 일으키는 미흡한 영상처리 알고리즘의 보완과 CCD 카메라에서 입력되는 크롭 영상의 효율적인 잡음 제거 및 영상 화질개선에 대한 연구가 향후 개선 과제로 남는다.

참고문헌

김우성(1997), 인쇄체 혼합 문서의 인식을 위한 전처리 연구, 호서대학

교 공업기술연구소 논문집, 16(1), 957-972.
 김우철, 박성현(1982), 현대통계학, 영지문화사.
 이하운, 박찬준(2000), hough 변환을 이용한 직선감지 알고리즘에 대한 연구, 동양대학교 산업기술연구소 논문집, 2(1), 71-76.
 원운재(2001), 영상기반 자율이동로봇의 주행제어기술 개발, 고려대학교 석사학위논문.
 Gonzalez and Woods(1998), *Digital Image Processing*, Addison Wesley, United States of America.
 Milan Sonka, Vaclav Hlavac(1999), *Image Processing Analysis, and Machine Vision*, PWS publishing, United States of America.
 Richard Hartley and Andrew Zisserman(2000), *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge, United States of America.



김 종 철
 중앙대학교 기계공학 학사
 현재: 고려대학교 산업시스템정보공학 석사
 과정
 관심분야: 정보시스템 개발



한 민 홍
 서울대학교 기계공학 학사
 미국 미네소타대학교 산업공학 석사
 미국 조지아공대 산업공학 박사
 현재: 고려대학교 산업시스템정보공학과
 교수
 관심분야: 무인자동차, 영상처리



권 대 길
 동의대학교 산업공학 학사
 현재: 고려대학교 산업시스템정보공학 석사
 과정
 관심분야: 공장자동화, 임베디드 시스템