

## 맞춤판재 용접용 3차원 비전 감시기 개발

장 영 건\*, 이 경 돈\*\*

### Development of 3-D Vision Monitoring System for Tailored Blank Welding

Young-Gun Jang\*, Keung-Don Lee\*\*

#### ABSTRACT

A 3-D vision system is developed to evaluate blanks' line up and monitor gap and thickness difference between blanks in tailored blank welding system. A structured lighting method is used for 3-D vision recognition. Images of sheared portion in blanks are irregular according to roughness of blank surface, shape of sheared geometry and blurring. It is difficult to get accurate and reliable informations in the case of using binary image processing or contour detection techniques in real time for such images.

We propose a new energy integration method robust to blurring and changes of illumination. The method is computationally simple, and uses feature restoration concept, different to another digital image restoration methods which aim image itself restoration and may be used in conventional applications using structured line lighting technique.

Experimental results show this system measuring repeatability is  $\pm 1$  pixel for gap and thickness difference in static and dynamic tests. The data are expected to be useful for preview gap control.

**Key Words** : Gap and thickness difference between blanks(판재간 간격 및 단차), 3D vision(3차원 비전), blurring(번짐), tailored blank(맞춤판재), energy integration(에너지적분)

#### 1. 서 론

자동차의 차체는 앞문, 뒷문, 앞면 패널 등 수 많은 기능모듈로서 구성되며, 각 기능모듈은 부위에 따라 요구되는 강도가 다르다. 이를 만족하기 위하여 부위별로 다른 두께의 강판을 절단, 용접, 성형하는 방식이 근자에 자동차 선진국을 중심으로 채용되고 있으며, 맞춤판재(Tailored Blank)를 이용한 가공방식이라 부른다.

선진국중에서 맞춤판재기술은 유럽에서 먼저 개발되기

시작하였고, 처음에는 메쉬드 씬(Meshed Seam)용접이 적용되었으며, 그 후에 점차 레이저를 사용한 용접으로 이행하고 있다. 미국에서도 1984년부터 약 10년간 기술 개발 및 현장적용연구를 통해 안정된 양산화 기술을 확보하고, 점차 적용범위를 넓혀가고 있다.

고출력 레이저용접은 용접속도가 빠르고, 용입깊이가 깊고, 열에 의한 변형이 작으며, 어느 분위기에서도 용접이 가능한 장점을 갖고 있으나, 집중된 레이저 빔의 폭이 수십 마이크로정도이므로 용접대상물 및 가공장치의 위치

\* 청주대학교 전자계산학과

\*\* 고등기술연구원 생산기술연구실

정밀도가 기존의 생산공정에 요구되는 것에 비해 매우 높아져야 하는 문제점이 있다. 특히 맞춤판재용접에 있어서는 판재의 위치정밀도, 판재 절단면의 거칠기 및 판재간 간격이 용접의 질을 결정하는 가장 큰 요소가 된다<sup>(1,2)</sup>.

용접선의 형태를 3차원 비전을 사용하여 인식하는 연구는 로봇트를 이용한 자동용접분야에서 활발하게 진행되었으나<sup>(3,4,5,6)</sup> 레이저 용접분야에서는 요구되는 용접선의 인식정밀도가 용접법 폭보다 작아야 하므로 기존응용분야보다 10배에서 50배 정도 높은 인식정밀도를 필요로 한다. 따라서 능동기법을 사용한 3차원인식시 주사되는 빔에 의해 대상물에 형성되는 구조화광의 번짐이 기존의 응용분야에서는 큰 문제가 아닌 반면에 레이저 용접분야에서는 인식정밀도에 커다란 악영향을 미친다.

본 연구는 능동적 3차원 비전기법을 적용하여 레이저 버드용접을 위하여 평행하게 정렬된 판재간의 간격과 단차를 측정하고 감시하는 시스템 개발과, 판재의 절단면에서 나타나는 레이저 광의 산란과 번짐에 의하여 갭이나 단차의 측정에 미치는 영향을 저감시킬 수 있는 영상처리 기법에 관한 것이다. 또한 고출력 레이저를 이용한 맞춤판재용접공정의 감시제어를 위한 기초연구로서 판재의 가공상태, 판재의 위치상태등을 정량적으로 계측하여 용접조건과 판재상태에 따른 용접품질과의 상관관계를 분석하고, 가공기개발 및 절단기개발의 애로기술인 판재위치화의 정밀도와 판재절단상태의 거칠기에 대한 제한조건을 완화하기 위한 판재간격 제어기술을 위한 선행적 연구이다.

## 2. 구조화 광을 이용한 3차원 영상처리 환경 및 영상취득방식

자동차의 차체를 구성하는 맞춤판재의 용접에서는 판재의 준비상태 즉 판재간의 간격, 판재의 절단면의 상태가 용접품질을 결정하는 중요한 요인이다. 판재 상태를 감시하기 위한 영상장치의 적용에 있어서 판재절단과정에서 발생한 판재절단면 끝에 형성된 금속의 요철부분등이 판재간 간격을 정확히 측정하는데 악영향을 미친다.

본 연구에서는 Fig.1과 같이 구조화된 광의 띠를 이용하여 판재의 표면특징을 삼차원으로 인식하는 실시간 영상처리기를 개발하고, 레이저용접기에 부착하여 그 적용성을 시험평가한다.

판재는 정밀한 판재이송장치에 의해 일정한 위치에서 맞물려져, 클램핑 장치에 의해 고정되어진 상태이다. 판

재 절단면의 거칠기, 버(burr)의 유무 및 판재이송장치의 정밀도에 따라 판재간에 틈새가 발생하며, 그 틈새가 위치에 따라 다르게 나타날 수 있다. 이중두께의 판재용접의 경우 판재간에 단차가 존재한다. 따라서 비전장치가 적용되는 환경은 매우 구조화 되었다고 할 수 있다.

비교적 단순한 기하적 특성을 갖는 적용대상에 대하여 3차원 정보를 취득하기 위하여 띠모양을 갖는 레이저 광선띠를 판재면에 송출한다. 판재면에서 반사된 광을 레이저 띠 송출기와 일정한 각도로 기울어진 카메라에서 수신하여 레이저 띠의 형상을 해석하면 띠가 형성된 면의 이차원적 특성을 알 수 있다. 또한 레이저 띠 송출기와 카메라를 하나의 유니트로 하여 이동시키면서 레이저 띠의 화상정보를 취득하면, 그 이동구간의 일정영역에 대한 3차원 정보를 얻을 수 있다. 판재간 간격 및 이중두께의 판재 용접시에 나타나는 판재간 두께격차 등의 정확한 측정을 위해서는 화면좌표와 기계좌표간의 정확한 매칭 및 보정이 필요하다. 레이저용접기의 빔폭은 50-100 $\mu$ m이므로 용접헤드의 z축을 조절하여 판재면에 미치는 용접법의 폭제어나 용접선 추적을 위해서는 화상의 정도는 10 $\mu$ m정도가 필요하며, 인식정밀도도 10-20 $\mu$ m내에서 결정되어야 한다.

## 3. 카메라유니트의 구성 및 설계

카메라 유니트는 CCD 화상을 취득하기 위한 카메라, 삼차원 정보취득을 위해 작업시편에 구조화된 레이저 띠를 송출하는 광 송출기, 카메라와 광송출기를 서로에 대해 적절한 각도로 고정하여 지지하고, 그 전체를 레이저용접기에 부착하기 위한 사시 및 카메라에서 취득한 정보를 사용자가 시각적으로 확인하기 위한 모니터로 구성된다.

카메라의 초점거리는 XY평면의 임의 이동시 고정구와의 충돌을 방지하기 위한 최소거리가 10.3mm이므로 10.5mm로 하였다. 초점심도는 동중두께와 이중두께를 다 적용하고, 최소용접판재의 두께는 0.9mm, 최대 용접판재의 두께는 2.5mm이므로 최대두께차를 고려하여 1.5mm로 하였다. 적용 용접판재의 길이는 2m이상이고, 정확한 위치화를 위해서 고정구를 사용하므로 판재의 벗어남이 3mm를 넘지 않는다고 가정하여 카메라의 FOV(Field of View)를 설정하였다. 또한 카메라의 입력부위에 가시광선 차단을 위한 간섭 필터를 부착하여 주위 조명의 변화에 의한 영향을 덜 미치지 않게 하였다. 광 송출기는 레이저광을 실린더형 렌즈를 투과시켜 일자

형 빔을 형성토록 하며, FOV를 고려하여 판재면에 형성되는 레이저 띠의 길이를 10mm로 하였고, 띠의 폭은 0.7mm정도로 하였다. 모니터는 카메라의 픽셀수보다는 정도(resolution)가 좋아야 하므로 고정도 모니터를 사용하였다.

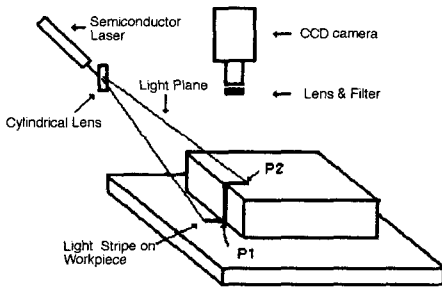


Fig. 1 Workpiece surface feature recognition using structured lighting.

#### 4. 감시제어장치의 구성 및 처리방식

구현될 용접용 감시제어장치는 H/W적으로는 능동 3-D 영상처리를 위한 레이저 띠 방출기, 카메라유닛, 비전 모니터, 영상 프레임 그래버 및 프레임 프로세서, 산업용 펜티엄 퍼스널 컴퓨터, 디지털 입출력 보드 및 케이블로 구성되며, 그 구성은 Fig.2에 표시한다.

판재 틈새 및 단차 감시제어기의 처리순서는 다음과 같다.

1. 고정구에 용접할 판재가 이송되면 수동 또는 자동으로 판재를 정확한 위치로 이송한 후에, 고정시킨다. 고정이 완료되면 용접헤드를 용접초기위치에서 카메라 옵셀만큼 변 위치로 이동시킨다.

2. NC는 영상처리에 NC의 RS-232C 직렬포트를

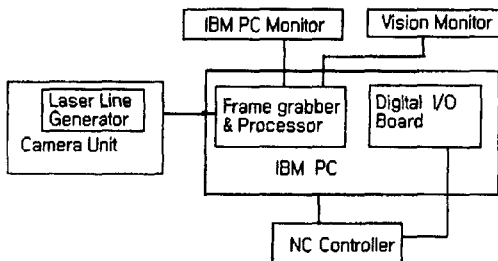


Fig. 2 Configuration of gap monitor.

통해 현재위치 및 목표위치정보를 전달한다. 영상처리기는 이 정보를 받아 화상처리를 할 시계열 프레임의 갯수를 계산한다.

3. 용접기가 운동을 시작할 때 NC는 운동시작을 알리는 정보를 PLC를 통하여 레벨정보로 영상처리기에 알려주며, 영상처리기는 바로 화상정보를 입력하여, 처리한다.

4. 화상정보처리는 영상획득, 에너지 함수를 이용한 좌우측 판재의 중심축 및 절단면 좌표를 결정하여 틈새의 크기, 중심좌표 및 단차정보를 추출하고, 반도체메모리에 그 정보를 저장한다.

화상처리시간을 단축 및 배경화상의 간섭을 배제하기 위해 적절한 화상처리장을 설정하며, 이 장은 사용자 적용대상에 따라 설정이 가능하다. 장은 화상처리 전에 설정하며, 최초 용접초기점탐지시는 비교적 넓고, 그 이후는 초기점주변에 비교적 작게 설정한다.

5. 전체 시계열 프레임의 갯수만큼 영상획득이 끝날 때까지 영상획득 및 프로시저 4를 반복한다.

6. NC로부터 운동중이란 플래그가 "0"상태인지를 확인한 후에 처리된 틈새의 중심점 및 폭과 단차정보를 화일에 저장한다.

#### 5. 영상처리

레이저 광선에 의해 판재표면에 형성된 띠의 영상을 해석하여 판재간의 틈새 및 단차를 결정한다. 형성된 띠는 두께가 약 0.7mm정도이므로 FOV에서 차지하는 면적이 큰 편에 속하며, 중심부는 밝고, 외곽부는 어두우며, 특히 절단면에 형성된 형상은 면의 형상, 거칠기, 산란등에 의해 불규칙하다. 이러한 영상에 대해서는 이치화 영상을 이용하거나 윤곽선 검출기법을 사용하여 실시간으로 정확하고, 반복성 있는 결과를 얻기가 어렵다고 알려져 있다<sup>(6,8,9,10)</sup>. 따라서 판재의 틈새 및 단차인식에 있어 그레이 영상을 대상으로 비교적 조명의 변화, 빛의 산란에 의한 영향을 적게 받고, 실시간 처리가 용이한 에너지 적분법이란 새로운 방식을 제안한다. 제안된 방식은 영상의 복원이 아니라 특징의 복원이란 측면에서 기존의 디지털 영상복원 방식들<sup>(12)</sup>과는 다르며, 기존의 선형화된 능동구조화광<sup>(3,6,7)</sup>을 사용하는 응용분야에서 일반적으로 사용할 수 있다.

광의 에너지는 영상의 그레이레벨과 비례한다고 가정한다. 두 판재표면에 형성된 레이저 띠는 주로 띠의 외곽부

와 불연속이 나타나는 판재 절단면에서 산란과 번짐에 의한 영향이 크다. 따라서 띠의 가장 밝은 부분인 중심부의 영상만을 해석하는 것이 이러한 영향을 줄일 수 있는 한 방법이다. 영상좌표계는 가로축을  $i$ , 세로축을  $j$ , 라 할 때, 임의의 위치  $(n,m)$ 에서 취득된 그레이코드는  $p_{n,m}$ 으로 표시한다. 카메라의 진행자세가 판재틈의 진행방향과 일치하고, 좌우대칭을 유지하는 것으로 제한한다. 취득된 영상은 Fig. 3에 표시하였다. 좌우로 배열된 판재는 띠의 불연속에 의해 구별되며, 두 판재사이에 축상에서 발생한 불연속점들 사이의 거리가 틈새가 된다. 또한 축상에서 발생한 불연속성분은 두 판재간의 단차이다. 그러나 띠가 상당한 면적을 가지므로 수 많은 불연속점이 발생하고, 어떠한 불연속점을 기준으로 선택해야 하는냐는 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 일차적으로 면적을 갖는 띠의 형태를 선분으로 변환시키는 방식을 채택한다. 이러한 선분변환은 두 가지 물리적 가정하에서 성립한다. 첫 번째 띠 모양은 비교적 일정하며, 가장 밝은 부위는 띠의 중심에 위치한다. 두 번째, 절단면의 위치를 결정하는 불연속점은 띠의 중심부에 위치한다. 이러한 가정하에서 영상좌표계에서  $j$ 축에 좌우에 배열된 판재에 형성된 띠의 중심좌표를  $g1, g2$ 라 할 때

$$g1 = \max_j \left( \sum_{i=0}^{k1} P_{i,j} \right), \quad (1)$$

$$g2 = \max_j \left( \sum_{i=k2}^{w_1} P_{i,j} \right)$$

가 성립하며, 이때  $k1, k2, w_1$ 는 각각 배경에서 선택한 최대 그레이레벨을 초과하는  $i$ 좌표값과 작업창의  $i$ 축 크기이다. 이 식에서 도입한  $\sum P_{i,j}$ 는 판재표면에 주사된 광에너지의 적분함수이다. 판재간 단차  $d_i$ 는  $g1, g2$ 간의

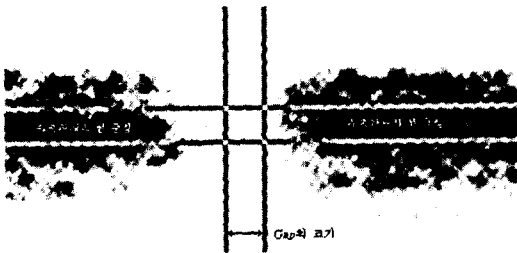


Fig. 3 Original gap image of blanks & definition of gap and thickness difference.

절대차로 정의할 수 있다.

$$d_i = |g1 - g2| \quad (2)$$

판재절단면의  $i$ 축좌표는  $j$ 축에 대한 각 픽셀의 그레이코드값을 연속적으로 적분하여 그 값이 최초로 최소가 되는 점이다. 이 점은 띠의 중심좌표의 연결선 상 근처에서 결정되는 값을 선택한다. 또한 판재 절단기술에 따라 매끄럽지 않게 절단이 됐을 때는 최대값의 10-25%정도에서 실험적으로 결정한다. 절단면의 좌표  $q1, q2$ 는 다음 식에 의해 계산된다.

$$q1 = \min_i \left( \sum_{j=1}^{w_1} P_{i,j} \right),$$

$$q2 = \min_{i+1} \left( \sum_{j=1}^{w_1} P_{i,j} \right) \quad (3)$$

$\min_{i+1}$ 의 의미는 최소치에서 판재면으로 천이되는 영역에서의 최소치를 유지하는 마지막  $i$ 좌표를 의미하고,  $w_1$ 는 작업창의  $j$ 축 크기이다. 판재간 틈새  $g$ 는 절단면 좌표  $q1, q2$ 의 차이이다.

$$g = q2 - q1 \quad (4)$$

또한 틈새의 중심좌표  $t$ 는 용접선 추적등의 용도를 위해 다음과 같이 결정된다.

$$t = q1 + \frac{g}{2} \quad (5)$$

## 6. 시험 및 결과

### 시험 장치

레이저 용접기의 베드위에 놓여지는 판재사이의 틈새 및 단차를 측정하고, 판재절단면의 상태 및 판재 위치의 적정성을 측정하기 위하여 적절한 시험준비상태가 필요하다. 실험에 사용된 용접시스템의 구성은 Fig.4와 같다.

레이저 용접기에 전원이 투입되고, 제어장치를 운용상태로 만든다. 그 다음 판재를 베드위에 올려놓고, NC프로그램에서 교시된 용접 초기점 위치에 두 판재의 절단면을 일치시킨다. 그 다음에 판재의 고정구를 동작시켜 두 판재를 고정하고, 감시제어기에 전원을 투입하여 준비상태로 만든다. FOV를 적절하게 설정하기 위해서는 금속자를 판재위에 올려놓고, 화상을 취득하여 카메라에 접속

된 모니터를 통해 가로방향으로 5mm가 전체화면에 들어 오는지를 확인한다. 이것은 레이저 띠 송출기를 이용하지 않으므로, 가시광선 차단필터를 제거한 상태에서 행한다.

**좌표계의 매핑**

감시제어기의 픽셀좌표계와 레이저용접기의 좌표계를 일치시키기 위하여 두 단계의 작업이 필요하다. 첫번째 작업은 픽셀좌표계와 기계좌표계를 일치시키기 위한 스케일링 요소를 정하는 것이다. 이를 위해서는 감시제어장치의 3차원 화상처리가 참조할 일종의 고정물이 필요하다. 이 고정물은 감시의 목적인 두 판재간의 맞대기용접을 행할 접촉면의 틈새 및 판재간 단차모습과 유사하게 삼차원적으로 설계하였다. 재료로는 열팽창계수가 매우 작은 금속을 선택하였고, 금속면에 홀을 만드는 방식을 선정하였다. 홀은 최대단차를 고려하여 깊이를 1mm로 정하였고, FOV 및 실제 처리 장을 고려하여 폭을 2mm로, 평균값을 구하기 위해 길이를 15mm로 정하였다. 고



Fig. 4 Laser welding system.

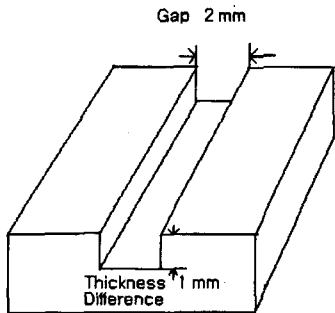


Fig. 5 Fixture for extracting transformation between pixel coordinate and NC coordinate.

정물은 Fig. 5에 표시한다. 홀의 가공은 금속면에 방전가공기를 사용하여  $\pm 5\mu\text{m}$ 오차 이내로 가공하였다. 이 고정물을 실제 측정할 판재기준면에 판재틈의 방향과 홀의 길이방향이 일치하도록 고정시킨다. 그 다음 NC와 틈새감시제어장치를 동작시켜 팬텀의 홀의 길이방향의 5mm간의 화상데이터를 취득하여, 측정된 폭과 깊이정보의 평균값(픽셀단위)을 구하고, 이미 알고 있는 깊이와 폭( $\mu\text{m}$  단위)과의 스케일링 요소를 구한다.

두 번째 작업은 실시간적으로 일정시간마다 취득되는 화상정보와 이동중인 용접헤드의 위치를 동기화시키기 위하여 실험할 용접기의 초기점 위치와 용접종료점, 이동속도를 감시제어장치에 입력한다.

**정적시험**

정지된 위치에서 여러 판재간 틈새의 크기에 따른 영상처리의 적합성 및 반복정도를 시험하며, 판재 틈의 문턱치를 결정하기 위하여 종축의 최대 에너지에 대하여 10, 15, 25 %비율을 정하여 가장 반복정도가 좋고, 실제 가공된 크기를 잘 반영하는 것을 선택한다. 실험에서는 실제 용접상황을 고려하여 판재간 틈새를 50, 100, 200  $\mu\text{m}$ 으로 설정하였다.

판재절단면은 밀링가공을 하였으며, 후에 고품질 절단으로 교체할 것이다. 정적시험은 단일한 일정 위치에서 반복적으로 측정하는 단계와 2mm 간격으로 판재를 따라 이동하면서, 정지하여 측정하는 두 단계로 설정하였다. 이동하면서 측정하는 단계에서는 틈새 간격 및 문턱치 조건에 따라 각각 20회씩 시험을 수행하였다. 시험에 대한 측정결과는 원화상, 에너지분포, 틈새 및 단차를 그래프로 처리한 측정화면을 \*.BMP화일에, 동적 순서에 따라 픽셀단위로 틈새 및 단차를 \*.mvs화일에, 미터 단위로 표현된 것은 \*.sts화일에 각각 자동적으로 저장된다.

맞대기 용접을 위하여 고정된 판재 틈과 단차를 측정하기 위한 원래 취득된 화상과 에너지 분포를 저장한 파일의 일부분을 Fig. 6에 나타내었다. 그림 우측에 그래프로 표시된 것이 판재표면에 형성된 레이저 띠의 횡축의 에너지 분포로서 틈새를 찾는 종축의 범위를 설정하는데 사용되며, 상단에 위치한 그래프는 종축의 에너지분포를 나타내는 그래프로서 틈새를 결정하는데 사용된다. 이 그래프에서 최저의 영역은 확실한 틈새이고, 판재간의 불연속점은 최대 에너지 크기에 대한 일정비율을 점유하는 위치로 실험에 의해 결정된다. 좌측 하단에 나타난 그래프는 좌우로 분포된 판재에 대한 횡축 에너지 분포를 나타내며,

최대에너지점의 상하방향 위치 차이가 판재간의 단차이다. 원 화상의 중심부를 관통하는 두 개의 평행선은 에너지 적분법에 의해 결정된 판재의 절단면의 좌표를 통과한다.

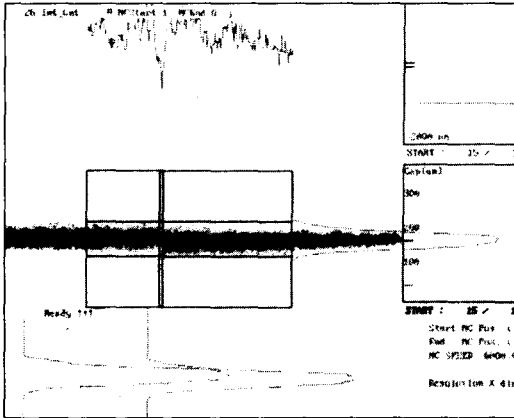


Fig. 6 Original image and energy distribution curve.

레이저 띠의 종축에 대한 에너지 적분그래프가 횡축에 비해 변화가 심한 것은 띠의 두께가 일정하지 않고, 판재 표면에서의 반사가 일정치 않음을 의미한다. 이러한 영상은 이치화 영상처리와 대상으로는 적합치 않다.

실험결과 모든 영역에서 판재간격 및 단차의 반복정도가 ±1 픽셀이내여서 제안한 영상처리 기법이 효과적임을 알 수 있다.

**동적시험**

정적시험에서 시험된 측정능력을 기반으로 카메라유니트를 저속, 중속, 고속의 운용속도에서 일정속도로 움직이면서 화상을 획득하고, 판재간의 틈새와 단차를 측정하여 화일에 저장한다. 화일명은 월일시분의 8글자로, 확장자는 sts로 자동 생성된다. 시험후 자동 생성된 화일의 내용 및 형식을 Fig. 7에 표시하였다. 이 그림에서 (x1, y1)은 용접진행방향을 기준으로 좌측 판재의 절단면과 레이저 띠의 교차점의 좌표이고, (x2, y2)는 우측 판재와 레이저 띠의 교차점의 좌표이다. 다음 데이터는 판재간격이며, 그 다음은 단차이다. 이 화일의 마지막 부분에는 간격 및 단차의 평균, 최대값 및 그 위치, 표준편차정보가 들어있다. 이 화일은 후에 엑셀등의 다른 통계처리 그래픽스패키지에 의해 다양하게 처리될 수 있다.

실험을 각 시편에 대하여 각각 20회씩 시험한 결과 모

Count ( x1, y1 ) ( x2, y2) gap step

- 1 (120,114) ( 93,126) 27 12
- 2 (120,114) ( 93,126) 27 12
- 3 (120,114) ( 93,126) 27 12
- 4 (120,114) ( 93,126) 27 12
- 5 (120,114) ( 93,126) 27 12
- 6 (120,114) ( 93,126) 27 12
- 7 (120,114) ( 93,126) 27 12
- 8 (120,114) ( 93,126) 27 12
- 9 (126,114) ( 93,126) 33 12
- 10 (120,114) ( 93,126) 27 12
- 11 (120,114) ( 92,126) 28 12

=====  
 Avg. Gap 27.58      Avg. Step 12  
 Max Gap 33         Max Step 12

Fig. 7 Example of test result file.

든 측정치가 ±1 픽셀의 반복정도를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 50 μm의 틈새에 대해서는 문턱치가 낮은 경우에 틈새를 인식하지 못하는 사례가 발생하였으며, 문턱치가 낮을수록 반복정도는 차이가 없으나 측정된 크기는 실제 틈새의 크기보다 작게 나타나는 경향을 보였다. 문턱치를 15%로 설정한 경우는 25%로 설정했을 때보다 1~2 픽셀정도 작은 데이터를 생성하였다. 실제 크기를 잘 반영하는 최대 에너지에 대한 문턱치는 25%이다.

**7. 결 론**

Tailored Blank 용접을 위한 감시제어장치의 기초연구로서 판재의 상태를 감시할 수 있는 3차원 틈새 및 단차 감시기를 개발하였다. 감시기를 레이저 용접기에 부착하여 연동시험한 결과, 판재절단기, 판재이송장치 및 고정구의 성능을 평가할 수 있었고, 판재상태와 용접품질과의 상관관계를 규명하고, 용접데이터베이스를 구축하는데 유용하였다.

제안된 원 영상의 그레이레벨을 대상으로 에너지 적분법에 의한 틈새 및 단차 측정방식은 이치화 영상에 의한 특징 추출방식에 비하여 광의 산란 및 번짐에 의한 영향을 적게 받으며, 원하는 반복정도를 얻을 수 있었고, 특히 틈새의 중심, 즉 용접선을 안정적으로 획득하는데 적합한 방식임을 알 수 있다. 이 방식은 그레이 레벨의 합을 구하는 방식으로 연산 복잡성에 있어 타 방식에 비해 매우 간단하여 실시간 감시에 장점이 있다.

측정된 데이터와 용접데이터베이스는 틈새 제어 및 용접선 추적을 위한 기초자료로 활용될 것이다.

### 참 고 문 헌

1. 서정 등, "자동차용 강판의 레이저 용접 및 성형성에 관한 연구", 제 6회 레이저 가공 심포지움, pp. 71-94, 1995.
2. 변진귀 등, "자동차 차체에 레이저 용접을 하기 위한 기초 실험", 제 6회 레이저 가공 심포지움, pp. 97-114, 1995.
3. John E. Agapakis, "Approachs for Recognition and Interpretation of Workpiece Surface Features Using Structured Lighting", The International J. of Robotics Research, Vol. 9, No. 5, pp. 3-16, 1990.
4. M.Kawahara et al, "Tracking Control System for Arc Welding Using Image Sensor", Proc. of IFAC Control Scie. & Tech.8th Triennial World Congress, pp. 2117-2122, 1981.
5. Huang Nan, "Control of Welding Machines Using Vision Data", Metal Construction, pp. 264-268, 1988.
6. J.E. Agapakis et al, "Adaptive Robotic Welding Using Preview sensing of Joint Geometry", SPIE Vol. 726 Intelligent Robots and Computer Vision : 5th in a Series, pp. 566-575, 1986.
7. Jorge L.C. Sanz, Advances in Machine Vision, pp 122-159, Springer-Verlag New York Inc, 1989.
8. S.Z. Li, "On Discontinuity-Adaptive Smoothness Priors in Computer Vision", IEEE Trans on PAMI, Vol. 17, No. 6, pp. 576-586, 1995.
9. Ramarkrishla Kakarala et al, "On Achievable Accuracy in Edge Location", IEEE Trans on PAMI, Vol. 14, No. 7, pp. 777-781, 1992.
10. Hong Jeong et al, "Adaptive Determination of Filter Scales for Edge Detection", IEEE Trans on PAMI, Vol. 14, No. 5, pp. 579-585, 1992.
11. 장영건 등, "Tailored Blank용접을 위한 감시제어 장치 개발" 한국정밀공학회 '96년도 추계학술대회 논문집, pp. 323-327, 1996.
12. Mark R. Banham et al, "Digital Image Restoration", IEEE Signal processing magazine, Vol. 14, No. 2, pp. 24-41, 1997.