

## 레이저 용접물의 용접성 평가

이정익\*

(논문접수일 2006. 9. 4, 심사완료일 2006. 10. 12)

### An Weldability Estimation of Laser Welded Specimens

Jeong-ick Lee\*

#### Abstract

It has been conducted by laser vision sensor for weldability estimation of front-bead after doing high speed butt laser welding of any condition. It has been developed a real time GUI(Graphic User Interface) system for weldability application in the basis of texts and field quality levels. In the reference of bead imperfections, defects absolute position and defects intensity index of front-bead in the basis of formability reference, it has been produced a weldability estimation and defects intensity index of back-bead by back propagation neural network. In the result of by comparing measuring data by laser vision sensor of back-bead and data by back propagation neural network of one, it has been shown the similar results. Finally, under knowledge of welding condition in production line, it has been conducted a weldability estimation of back-bead only in knowledge of informations of front-bead data without using laser vision sensor or welding inspection experts and furthermore it can be used data for final inspection results of back-bead.

**Key Words** : Back Propagation Neural Network(역전파 인공지능기법), Laser Vision Sensor(레이저 비전 센서), Weldability Estimation(용접성 평가), Front-Bead(전면 비드), Back-Bead(이면 비드), Defects Intensity Index(결함 강도 지수), Segment Splitting Method(절점 분할법), Coefficient Correlation(계수 상관 관계)

## 1. 서론

레이저 용접은 용접 접합의 범주에 속하며 고 밀도 레이저 빔이 용접 물에 흡수되고 열로 변환되어 용융이 일어난다. 레이저빔은 전자파로서 레이저 광원과 물체 사이에 기계적 또는 전기적 접촉이 없으며 수 kW급의 레이저가 출현하면

서 레이저 용접에 의한 박판 가공의 중요성이 부각되기 시작했으며 이를 경공업 및 최근 중공업까지 이용하려는 시도가 세계적으로 시도되고 있다. 일반적 자동차 생산 공정의 박판 생산에 사용되는 CO<sub>2</sub> 아크 용접기의 경우 적어도 초당 10 센티미터이상의 용접 길이를 수행할 수 있는 반면 이를 검사할 수 있는 용접성 평가 시스템의 구축은 미미한 형편이다.

\* 용인송담대학 자동차기계학부 (jilee@ysec.ac.kr)  
주소: 449-710 경기도 용인시 처인구 마평동 571-1

선진국 일부 국가와 우리나라의 경우 몇몇 자동차 회사와 대학들의 산학 연구에서 레이저 용접시 생산되는 플라즈마의 주파수 및 파장을 검출하는 모니터링 기법이 일부 사용되어지는 추세이다<sup>(1)</sup>. 이러한 방법에는 임계값에 영역(band)을 주어 검출되는 주파수 및 파장이 범주에 포함될 경우 용접성을 판정하는 기법을 사용하므로 강판의 재질, GAP의 크기에 따라 용접성이 양호한지, 부분 용접(partial penetration)이 수행되었는지 검출해 내기가 상당히 애매하다. 뿐만 아니라, 이는 상측 비드의 용접성을 판별하자는 취지가 있고 진정한 의미의 용접에서 이면 비드의 용접성 평가는 접근하지 못하고 있음이 사실이다<sup>(1)</sup>. 국내에서도 이면 비드의 용접성 평가의 중요성을 감지하고 90년대 초부터 이면 비드의 용접성을 평가하거나, 이면 비드의 용접성을 제어하려는 노력이 많이 수행되었다. 구체적 사례로는 1994년 임태균 등<sup>(2)</sup>은 GMA 평판 위 용접(bead on plate) 공정에서 신경회로를 이용하여 용융지의 크기 변화를 예측하고 제어하는 방법을 제안하여 이면 비드를 평가하려는 간접적 노력이 따랐으며, 1995년 안재현 등<sup>(3)</sup>은 2mm두께 판재의 맞대기 용접에서 루트간격의 변동을 단락 주파수로 감지하고, 실험적인 모델링으로 구한 루트간격과 적정 용접 속도와의 관계를 이용하여 이면비드를 평가하는 시스템을 구축하였고, 1997년 김영수 등<sup>(4)</sup>은 오류 역전파법에 의한 탄산가스 아크 용접에서 이면 비드의 용접성 평가를 패턴으로 구분하여 발표한 바 있다.

이상의 연구에서 알 수 있듯이 용접공정에서는 상측 비드의 용접성과 더불어 하측 비드의 용접성이 상당히 중요함을 알 수 있으며 맞대기 용접의 형상에서 오는 GAP등의 가변적인 인자 때문에 현재 연구로는 상판 용접(bead on plate)에서 상측 비드 및 하측 비드의 형상을 평가하려는 노력이 더 활발하다. 특히, 레이저 용접과 같이 박판 용접에다 녹아 붙어 두께가 성형성에 치명적인 영향을 주는 맞대기 용접에서는 용가 제의 공급이 없는 일반 고속 레이저 용접의 경우 상 하측의 비드가 오목(concave)한 형상을 띠므로 상측의 비드 깊이가 하측에 비드 깊이에 영향을 줄 것이며 이것이 하측 비드의 용접성에 직접적 영향을 줄 것이라는 연구배경을 가지고 연구를 시작하였다.

본 연구에서는 상측 비드에 대한 비전 센서를 이용한 실시간 용접성 평가에 대한 연구 및 레이저 용접물의 상 하측 비드 깊이의 상관관계에 대한 연구를 배경으로 일정 조건에서 생산된 용접성이 다양한 용접 시편을 중심으로 하측 비드의 용접성을 평가시 비전센서를 이용하지 않고 상측 비드의 프로파일 당 결함의 종류와 비드 깊이의 인자를 입력값으로

하여 이면 비드의 깊이값과 용접성을 정성적, 정량적으로 평가하였으며 그 결과 실제 계측치의 용접성 평가와 거의 일치함을 알 수 있었다.

## 2. 박판의 형상 및 결함

레이저 용접은 고밀도 레이저빔이 집속 되어 용접물에 흡수되고 열로 변환되어 용융이 일어난다. 그 과정에서 이면 비드는 키이홀을 생성하면서 표면 장력에 의해 용융 금속이 모재를 중심으로 상하측 비드 모두가 오목한(concave) 형상을 보이게 된다. 이러한 현상은 레이저에 관한 수많은 연구 논문에서도 많이 발표된 바 있으며 그 모습은 Fig. 1과 같다. 그림에서 보듯이 상측 비드는 용입 부족으로 인한 underfill, 빔의 과열 또는 빔초점의 오조준으로 인한 pinhole(blowhole 포함), 용융후 부재의 변형 등에 의해 발생하는 mismatch등의 결함이 발생된다. 또한, 하측(이면) 비드에는 용융후 과다 수축으로 인한 suckback(excessive root concavity)이 발생하게 된다<sup>(7-11)</sup>. 위에서 언급한 결함에 대한 명칭, 형상, 한계 및 정의 등을 Table 1에 기술하였다.

## 3. 정확한 깊이값 측정을 위한 화상처리

### 3.1 레이저 비전 센서에 의한 화상 획득

레이저 비전 카메라를 통해 얻어진 용접 비드의 형태는 Fig. 2와 같이 나타난다. 그림의 레이저 띠(stripe)는 240개의 일련의 점들로 구성되어 있으며, 이들을 문헌에 따라서는 디지털 곡선(digital curve)<sup>(10,11)</sup>이라고 기술한 곳도 있다.

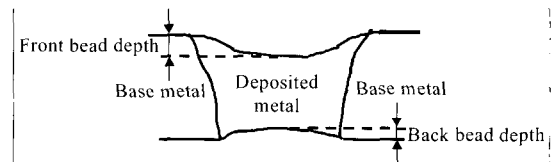


Fig. 1 General section shape of butt laser welded bead

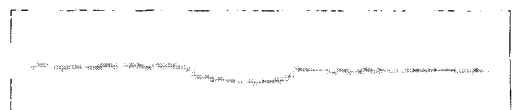

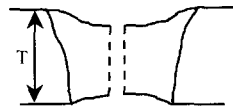




Fig. 2 A stripe of laser welded bead

Table 1 Limits for imperfections

NO.	Imperfection designation	Remarks	Limits for imperfections	Definition of Imperfections
1	Underfill		$T_0/T \leq 0.2T$ T:SPECIMEN THICKNESS T0:THICKNESS AFTER FUSION	Lack of fusion and penetration between weld metal and parent metal or weld metal and weld metal
2	Pinhole (Blowhole)		$T \leq V_B$ T:SPECIMEN THICKNESS VB:BREAK POINT MAX. VALUE	A collapse of the weld pool resulting in a hole in the weld or at the side of the weld
3	Mismatch		$ T_L - T_R  \geq 0.25T$ T:SPECIMEN THICKNESS TL:LEFT EDGE THICKNESS TR:RIGHT EDGE THICKNESS	Misalignment between two welded pieces such that whilst their surface planes are parallel they are not at the required level.
4	Suckback		$T_0/T \leq 0.1T$ T:SPECIMEN THICKNESS T0:THICKNESS AFTER FUSION	Excessive Root Concavity = Shrinkage Groove = Suckback : A shallow groove in the root caused by contraction in the weld metal along each side of the penetration bead

3.2 특징점 추출을 위한 분할법<sup>(10,11)</sup> 사용

본 연구에 사용된 곡선 근사화를 위한 분할법에 쓰인 알고리즘은 다음과 같은 4단계로 수행된다.

첫 번째, 주어진 곡선에 대하여 첫번째 에지점(edge point) A와 마지막 에지점(edge point)B를 직선으로 연결한다. 두 번째, 곡선의 모든 점에 대하여 1단계에서 연결한 직선으로부터의 수직거리를 계산한다. 만일, 모든 점에 대한 직선거

리가 문턱치(허용범위, threshold)보다 작으면 끝내고 그렇지 않으면 다음 단계를 시행한다. 세 번째, 직선으로부터 가장 먼 수직거리인 점을 절점(break point)으로 삼고 절점과 앞의 성분의 끝점을 연결함으로써 새로운 약간 선분을 얻는다.(에지점 C), 마지막으로, 다시 2단계로 돌아가서 반복적으로 시행한다. 이 반복적인 과정은 매우 효과적이며 이러한 segment splitting method는 recursive subdivision이라고도 불린다.

이 알고리즘에 대한 예시를 Fig. 3에 나타내었다.

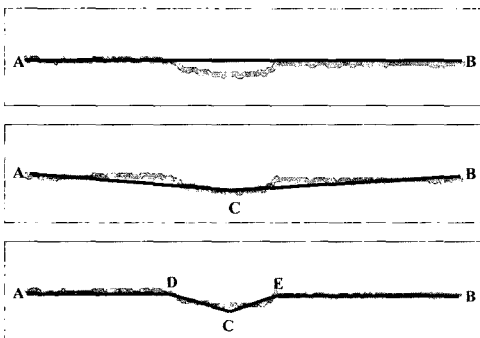


Fig. 3 Segment splitting method for a stripe representation

3.3 상하측 비드의 상관관계

본 연구에서도 알 수 있듯이 오류역전파법(BPN: Back Propagation Neural Network)에 의한 이면비드의 용접성 예측을 위해서는 상하측 비드의 상관관계를 먼저 정의하여야 한다. 앞서 Fig. 1에서 보듯이 레이저 용접은 용가재 공급 없이 모재의 용융 금속만으로 용착 금속을 형성하므로 2.2 절의 화상처리에 의해 상하측 비드 동일 지점에서의 계측 비드의 깊이값에는 상관관계가 있을 것으로 생각된다. 따라서, 이 장에서는 계측된 상 하측 비드 깊이 값을 상관 계수식을 이용하여 상관 계수값을 얻고자 한다. 상관계수(correlation

coefficient)는 상관관계계수라고도하며, 공분산에 각 확률 변수의 표준편차를 나누어 줌으로써 변수의 척도와는 무관한 값을 구하는 것이다. 편의상 상측 비드(front bead)와 하측 비드(back bead)의 변수를 각각 F, B라고 하자. 그렇다면, F와 B사이의 상관계수, COR (F, B)또는  $\rho_{FB}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{COR}(F, B) &= \rho_{FB} = \frac{\sigma_{FB}}{\sigma_F \sigma_B} \\ &= \frac{E(F - \mu_F)(B - \mu_B)}{\sqrt{E(F - \mu_F)^2} \sqrt{E(B - \mu_B)^2}} \end{aligned} \quad (1)$$

이들 식에 의해 구해진 본 연구에 이용된 시편들과 상관계수의 결과를 Table 2와 Table 3에 각각 나타내었다. Table 3의 결과에서 보는 바와 같이 상측 비드의 데이터와 하측 비드 데이터의 상관계수는 0.85이상으로 깊이값 들의 상관관계가 큰 것으로 확인되었다. 보통 상관관계는 0과 1사이의 값에서 존재하며 0.75 이상값을 가지면 상관관계가 큰 것으로 통계학적으로 생각될 수 있다. Table 3의 조사결과를 통해 레이저 용접과 같은 박판 용접에서 성형성 및 기계적 강도에 큰 영향을 주는 상하측 비드의 깊이 데이터에 상관계수가 큰 것으로 확인되었다. 이 결과를 통해 상측 비드의 결과와 깊이 데이터로 오류역전파법을 이용해 하측 비드의 깊이 데이터를 예측해 보고자 한다.

### 3.4 오류역전파법(Back propagation)학습 알고리즘

본 연구에서 이면 비드 용접성 예측을 하고자 사용하는

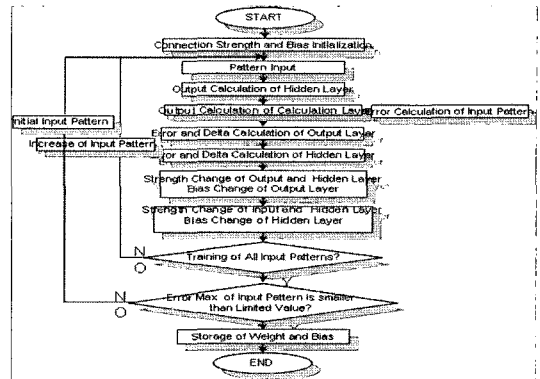


Fig. 4 Flowchart for artificial neural network training

백프로퍼게이션 학습 알고리즘의 기본 원리에 의하여 이러한 오류역전파법 학습방법은 델타 규칙(Delta rule), 최급 하강법(gradient descent method) 및 일반화된 델타규칙을 이용하여 학습과정을 수행하며 일반화된 학습 알고리즘의 과정은 보통 13단계를 거쳐 수행되고, 이를 알고리즘 흐름도로 나타내면 Fig. 4와 같다.

## 4. 실험

### 4.1 실험 장치

상하측 비드의 깊이값 검출을 위한 비전 시스템은 캐나다 Servo Robot사의 SMART -HR 3-D 레이저 비전 카메라를 검출장비로 사용하였고, XY robot은 일본 Shibaura사의 시바우라 로봇 CM2 컨트롤러를 사용하였다. 비전시스템은 비

Table 2 Thickness, size, inspection length

No. of specimens	Thickness(mm)	Size(mm)	Inspection(mm)
specimen 1	0.8t	40 X 70 X 2(EA)	40
specimen 2	0.8t	50 X 75 X 2(EA)	32
specimen 3	0.8t	90 X 75 X 2(EA)	75
specimen 4	0.8t	90 X 78 X 2(EA)	85

Table 3 Similarity value of correlation coefficient

No. of specimens	Inspection length of F/B(mm)	Correlation coefficient( $\rho_{FB}$ )
specimen 1	Front/back bead of 40mm	0.88
specimen 2	Front/back bead of 32mm	0.87
specimen 3	Front/back bead of 75mm	0.93
specimen 4	Front/back bead of 85mm	0.85

전카메라 헤드(SMART-HR)와 컨트롤 장치(SMART-BOX)로 구성되어 있다. 카메라 헤드는 깊이 측정을 위한 능동적 광학 삼각법(optical triangulation)에 기초를 두고 있으며 이는 광원과 비전센서를 기준선으로 하여 센서에 상이 맺히는 위치에 따라 삼각법에 의해 물체까지의 거리를 구하는 방식으로 되어 있고 본 연구의 SMART-HR의 경우 구조화된 레이저 빔 투영방식(structured laser beam illumination)을 사용한다. 카메라에서 투사된 레이저는 물체와 교차하고 이 교점은 수광렌즈를 통과하여 수광부(photosensitive device)에 상이 맺히며 이는 다시 물체까지의 거리로 계산된다. 광원으로는 출력 3mW의 시각 레이저 다이오드를 사용하며, 또한 카메라 렌즈 부에는 용접시의 잡음과 스페터의 방해를 막기 위한 대역 통과 필터가 설치되어 있다. 레이저 카메라는 0.002mm의 resolution을 가지고 한 프로파일(profile)당 240개의 점을 샘플링하며 초당, 30개의 프로파일링을 행한다.

XY robot은 최대 160 W인 DC servo motor를 10단계까지 속도변화 할 수 있다. Fig. 5는 용접 비드의 계속에 사용된 실험 장치를 나타낸 것이다.

### 4.2 실험 방법

최근 자동차등에 많이 사용되고 있는 범용적인 박판으로는 냉간 압연 강과 아연 도금강이 있으며, 본 연구에서는 0.8t 아연 도금강을 맞대기 용접한 시편을 시험대상으로 하였다. 용접조건은 4kW CO<sub>2</sub> 레이저 용접기를 사용하였고, 보호가스로는 헬륨가스를 초점위치는 표면에서 0.6mm로 하였고 용접속도는 4m/min으로 하였고, 갭(gap)은 0에서 0.075mm까지 유동성 있게 변화시켰다. 본 연구에서는 일정 조건하의 용접조건에서 생산되는 다양한 결함을 가진 용접 시편의 용접성을 평가하였으며 이는 다양한 조건의 레이저 용접물에 대한 용접성 검사를 위한 기초연구가 될 수 있으리

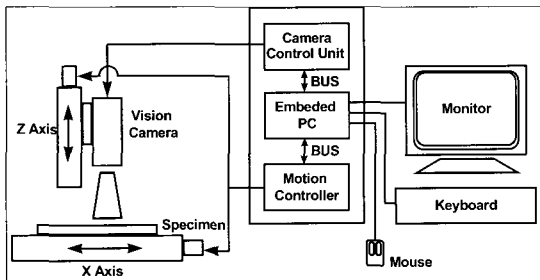


Fig. 5 System configuration for inspection

라 생각된다.

### 4.3 인공 신경 회로망의 구성

용접성(weldability), 상측 비드깊이(front bead depth)의 2개의 변수를 입력층(input layer), 은닉층(hidden layer)을 2개, 하측 비드깊이(back bead depth)의 깊이를 출력층(output layer)으로 가지는 2 x 40 x 40 x 1의 인공 신경회로망을 Fig. 6과 같이 구성하고, 시편 1~시편 4까지의 이면 비드의 용접성을 평가하기 위해서 3.1 실험장치에 쓰인 장비로 얻은 화상처리 후의 실험결과 데이터 값을 이용한다. 이 데이터는 앞서 상측 비드의 용접성에서 판정된 각 프로파일의 결함 및 상측 비드의 깊이와 그때 하측 비드의 깊이를 전체 시편들의 결함 빈도수를 고려하여 선별된 임의의 데이터를 40개 채취하여 학습하였다. 40개의 데이터는 4개 시편 전체에서 평가하고자하는 결함별로 비율을 주어 훈련시켰으며 이는 동일 조건하에서 생산되는 용접물의 용접성 경향(trend)을 평가하기 위함이다. 아래는 훈련시킨 데이터의 결함별 비율과 전체 비중치를 10으로 두었을 때 결함당 훈련 시 부여한 비중값을 기록한 표이다. 신경망 학습을 통해 구해진 연결가중치와 바이어스를 저장한 후 하측 비드의 용접성 예측(estimation)에 적용하였다.

### 4.4 하측비드의 평가 기준

오류 역전파법에 의해 얻어진 하측 비드의 깊이값은 수치 그 자체의 의미로 그칠 것이 아니라 정량적, 정성적인 방법으로 환원해 주어야 올바른 용접성 평가를 할 수 있다. 하측 비드의 평가는 Table 2의 suckback의 결함기준에 준한다.

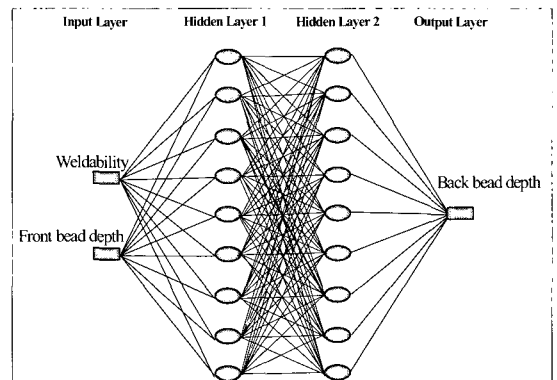


Fig. 6 Artificial neural network for estimation of back bead weldability

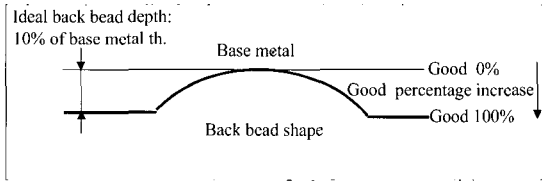


Fig. 7 Weldability estimation reference of back bead

즉, 하측 비드도 상측비드처럼 오목한(concave) 형상을 형성할 것이므로 이 오목함의 정도가 얼마정도나에 따라 성형성 및 기계적 강도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 두께의 10%를 suckback의 한계로 보고 그 이상 비드가 모재 방향으로 두꺼워지면 용접성이 좋은 것으로 판단하였다.

그러나, 하측비드가 모재표면 부위를 넘어서면 root excessive weld bead 라는 다른 결함으로 정의되므로 모재의 표면까지의 두께를 100% 용접성이 좋은 상태로 간주하였다. 오류 역전파법에 의해 최종적으로 출력되는 하측비드의 깊이값은 일단 용접성의 여부(good or bad)의 상태로 나타난다. 모재 두께의 10%이상의 얇은 두께에서는 bad로 표시되며 10%보다 두꺼워지면 모재 표면 두께까지의 비율로 용접성을 good과 %로 프로파일 마다 정의되도록 하였다. 이에 대한 상세도를 Fig. 7에 나타내었다.

## 5. 고찰

### 5.1 상관관계를 통한 실측치와 BPN 값 비교

하측 비드의 실제 레이저 비전센서에 의해 계측되어 화상 처리된 값(실측치)과 그때의 상측 비드 용접성과 깊이값을 입력해서 수행한 오류역전파법에 의한 하측비드 값과의 비교를 수행하고 그 데이터를 plot후 추이선을 살펴본 그림을 Fig. 8~Fig. 11에 걸쳐 나타내었다. 각각의 그림은 시편1~시편4까지의 결과를 나타낸 것이다. 본 연구의 비교데이터 길이는 Table 2의 시편 길이들에 비해 10mm가 적음을 알 수 있을 것이다. 이는 용접 시작부와 용접 마침부 부근의 용접성은 좋지 않고, 생산라인에서도 후가공이 필요한 부분 이므로 시작부 5mm와 마침부 5mm의 용접성 평가는 배제시키기로 하였다. 그림은 모두 2차 곡선의 추이선을 나타낸 것으로 그림의 모든 선의 경향이 하측 비드 깊이의 실측치와 BPN에 의해 구해진 선의 데이터 추이선이 거의 일치함을 알 수 있다. 아래 표는 Fig. 8~Fig. 11 각 그림의 두 곡선들 간의 상관계수, 평균 오차를 및 비교 데이터 길이를 나타낸 표이다. 이것으로 보아 비교데이터 길이에 대한 하측비드의

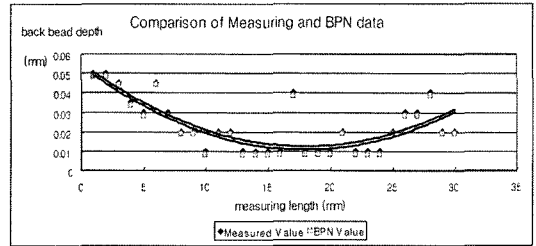


Fig. 8 Comparison of measuring data and BPN data (specimen 1)

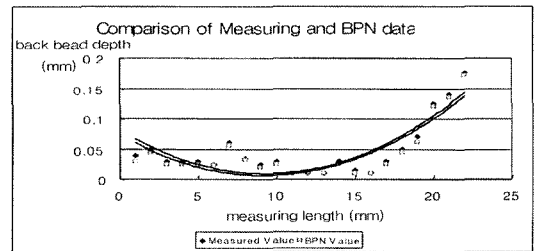


Fig. 9 Comparison of measuring data and BPN data (specimen 2)

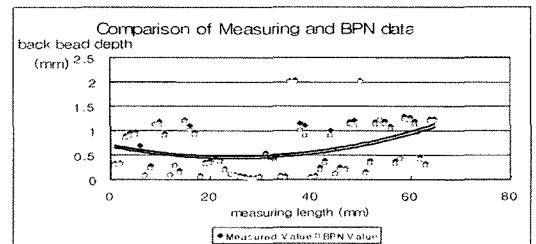


Fig. 10 Comparison of measuring data and BPN data (specimen 3)

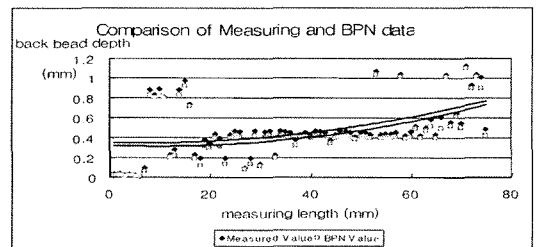


Fig. 11 Comparison of measuring data and BPN data (specimen 4)

계측치와 BPN치는 상관계수가 높으며 그림들에서 보이는 것처럼 평균 오차를 무시할 수 있을 만큼 두 데이터가 일치

함을 보여준다. 위의 표와 Fig. 8~Fig. 11을 통해 상측 비드의 용접성과 깊이 데이터로 하측 비드의 용접성을 평가하는 자료로 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

### 5.2 용접성 평가를 위한 지수의 도입

상하측 비드의 효과적인 용접성 평가를 위해 각 프로파일의 용접성 유무와 함께 결함이 부분 또는 집중적으로 몰려 있는 부분에서의 효과적인 용접성 평가를 위한 결함 집중지수(flaws' intensity index)의 개념을 도입하고자 한다. 이를 식으로 나타내면 다음 식 (2)로 정의 할 수 있다.

$$F_i = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (D_{i+1} - D_i)}{n-1} \quad (2)$$

여기에서  $D_i$ 는 결함의 연속에서  $i$ 번째 결함을 나타내고,  $D_{i+1} - D_i$ 는 두 결함이 발생한 사이의 거리를 나타낸다. 이 결함 집중 지수의 값이 일정한 경계값(threshold) 이상이면 결함이 아니고, 그 이하면 결함으로 간주하게 된다. 평가시 하측 비드도 상측 비드와 같이 5개의 프로파일씩을 검토하고 1개씩 증대시키면서 용접성 및 결함 평가지수를 검출하였다. 본 연구에서는 결함의 집중도를 고려하기 위한 결함 집중지수의 경계값을 2로 했다.

### 5.3 평가지수에 의한 상, 하, BPN에 의한 데이터의 비교

완전한 용접성 평가를 위해 레이저 비전센서로 계측 후 화상처리한 상측비드의 데이터 와 하측비드의 데이터 그리고 오류역전파법에 의해 구해진 하측비드 데이터의 용접성 및 결함 집중지수 비교표를 아래 Fig. 12~Fig. 19에 나타내었다. 고찰 결과는 다음과 같다. 첫 번째, Fig. 12과 Fig. 13은 시편 1의 용접성과 결함 집중지수를 나타낸 것으로 그림에서 보는 것처럼 3가지 데이터 모두 100%의 일치성을 보여주고 있다.(30 profile(30mm) 검토), 두 번째, Fig. 14과 Fig. 15는 시편 2의 용접성과 결함 집중지수를 나타낸 것으로 3가지 데이터가 96%의 일치성을 보여주고 있다.(22 profile(22mm) 검토 중 1 profile 평가 오류), 세 번째, Fig. 16과 Fig. 17은 시편 3의 용접성과 결함 집중지수를 나타낸 것으로 3가지 데이터가 98.5%의 일치성을 보여주고 있다.(65 profile(65mm) 검토 중 1 profile 평가 오류), 네 번째, Fig. 18과 Fig. 19는 시편 4의 용접성과 결함 집중지수를 나타낸 것으로 3가지 데이터가 97.4%의 일치성을 보여주고 있다.(75 profile(75mm) 검토 중 2 profile 평가 오류)

이상의 고찰에서 살펴본 결과로는 결함이 골고루 존재하는 시편을 대상으로 하측비드를 오류역전파법으로 평가한 결과 실제 레이저 비전센서를 통해 화상 처리한 데이터를 이용한 것과 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 성형성 및 기계적 강도의 조건만 주어진다면 현대의 레이저 비전

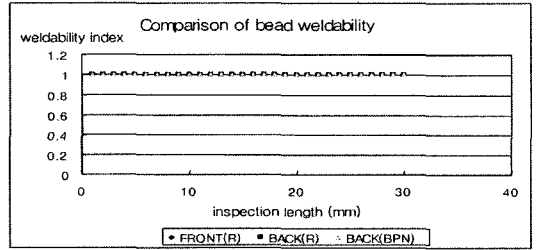


Fig. 12 Comparison of bead weldability(specimen 1)

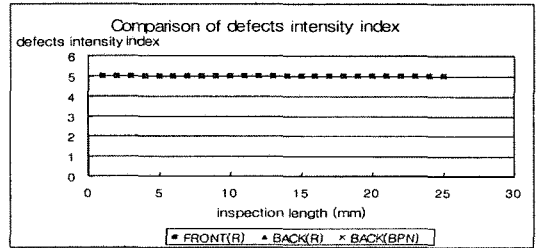


Fig. 13 Comparison of defects intensity index(specimen 1)

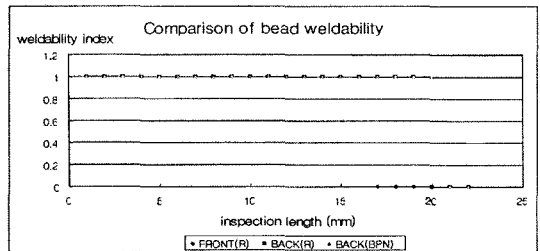


Fig. 14 Comparison of bead weldability(specimen 2)

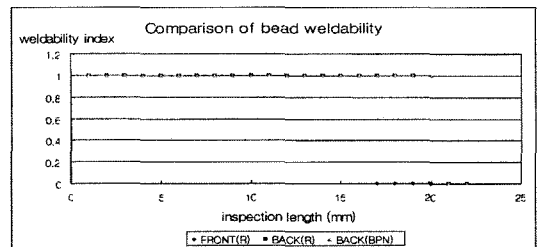


Fig. 15 Comparison of defects intensity index(specimen 2)

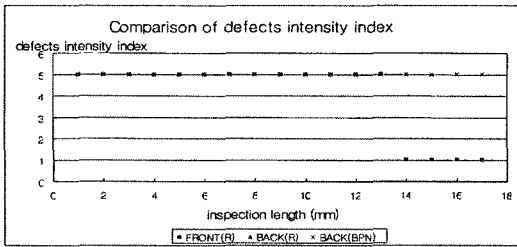


Fig. 16 Comparison of bead weldability(specimen 3)

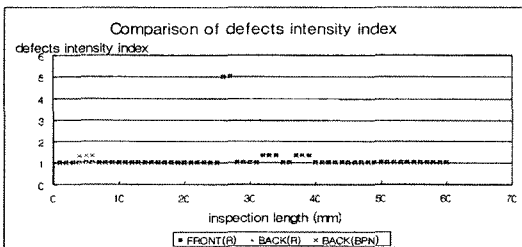


Fig. 17 Comparison of defects intensity index(specimen 3)

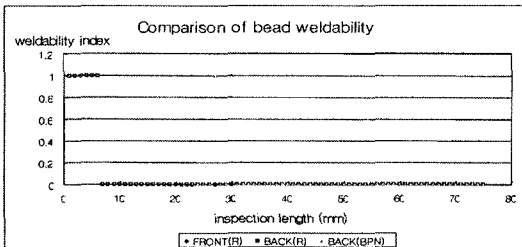


Fig. 18 Comparison of bead weldability(specimen 4)

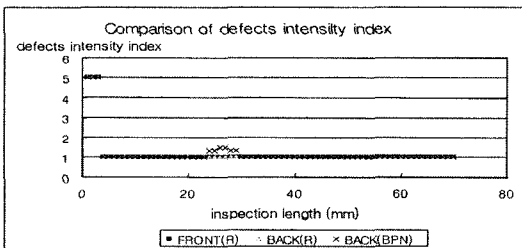


Fig. 19 Comparison of defects intensity index(specimen 4)

센서로 상측비드의 각 프로파일 당 용접성과 깊이데이터 값만 입력시켜 주면 훈련된 오류역전파법에 의해 하측비드의 용접성과 결함의 집중정도를 충분히 평가할 수 있다. 이러한 결과는 기존의 비드상(bead on plate)의 연구에서나 용접 파라미터를 입력값을 알 경우 인공지능기법을 사용하여 하측

비드의 용접성을 좋게 할 수 있으며, 상하측 비드의 용접성과 결함 집중정도를 실시간적으로 정확하게 평가할 수 있다는 점에서 실용적인 연구방법이라 생각된다.

## 6. 결론

이미 연구된 바 있는 CO<sub>2</sub> 레이저 용접의 용접물 검사를 위한 용접성 판별시스템 개발에 관한 연구와 CO<sub>2</sub> 레이저 용접의 용접물의 용접성 검사에 있어 상하측 비드의 상관계수에 관한 연구를 거쳐, CO<sub>2</sub> 레이저 용접의 용접물의 상측비드의 용접성 및 깊이데이터를 정보로 오류역전파법을 이용해 하측비드의 용접성과 결함 집중지수를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 오류역전파법에 의해 평가된 실시간 상측비드의 용접성과 깊이데이터로 하측비드의 용접성과 결함 집중지수를 구할 수 있었고 이들 결과가 실측치 평가와 거의 일치함을 알 수 있었다.
- (2) 하측비드의 비전에 의한 실측치와 오류역전파법에 의한 데이터는 유사한 추세선을 보였으며 이를 보다 근사화 시키는데 인공지능 훈련 데이터의 적절한 선정이 필요하다.
- (3) 평가의 사양이 정해지면 상측비드를 계측하면서 용접성을 판별하고, 동시에 비전의 사용 없이 하측비드의 용접성을 예측할 수 있는 실시간 레이저 용접성 평가시스템을 구축하였다.

## 참고 문헌

- (1) Park, H. S., Rhee, S. H., Ryu, S. Y. and Park, I. S., 1998, "Development of High Power CO<sub>2</sub> Laser Welding Monitoring System," *Korean Welding Society 98' Autumn Proceedings*, pp. 148~152.
- (2) Im, T. G., Cho, H. S. and Bu, K. S., 1994, "Molten Pool Control in Gas Metal Arc Welding using by Neural Network," *Journal of Korean Welding Society*, Vol. 12, No. 1, pp. 232~245.
- (3) Ahn, J. H. and Kim, J. Y., 1995, "A Study of Back-bead Control using by Pulse Frequency in Thin Gas Metal Welding," *Journal of Korean Welding Society*, Vol. 13, No. 4, pp. 330~339.
- (4) Kim, Y., Rhee, S. H. and Um, K. W., 1997, *A Study on Outside Defects Detection of Welding Bead using*



- by *Artificial Neural Network*, Master Dissertation in Hanyang Graduate School.
- (5) Se, J., Kim, J. O. and Han, U. H., 1996, "A Study on Laser Welding and Moldability of Automotive Sheet Metal," *Monthly Welding Technology*, pp. 32~42.
- (6) Se, J., Han, U. H., Kim, J. O. and Lee, Y. S., 1996, "Formability of CO<sub>2</sub> Laser Welding in Different Thickness Sheet Metal," *Journal of Korean Welding Society*, Vol. 14, No. 1, pp. 45~53.
- (7) Se, J., Han, U. H., Youn, C. S. and Bang, S. Y., "CW CO<sub>2</sub> Laser Welding and Formability of Zinc Coated Sheet Metal," *Journal of Korean Welding Society*, Vol. 13, No. 1, pp. 145~155.
- (8) VenderWert, 1986, *Industrial Laser Annual Handbook*, pp. 456~478.
- (9) SMART 10/HR (3-D LASER VISION CAMERA)-Installation and operation manual
- (10) Kim, H. S., 1994, "Image Recognition-Image Processing, Computer Vision, Pattern Recognition, Neural Network," *Press Seong Neung*, pp. 229~259.
- (11) Jain, R., Kasturi, R. and Schunck, B. G., 1995, *Machine Vision*, McGraw-Hill, pp. 186~233.
- (12) Yum, D. B., Ko, J. B., Choi, B. K., Lee, S. G. and Kim, A. K., 2002, "Evaluation of Resistance Spot Welding Weldability of Aluminium Alloy 5000 Series," *Transactions of the Korean Society of Machine and Tool Engineers*, Vol. 11, No. 3, pp. 8~13.
- (13) Yoo, Y. T., Kim, J. Y., Ro, K. B., Yang, D. J., Oh, Y. S., Im, K. G. and Kim, J. H., 2003, "Estimation of Laser Welding Behavior of SM45C Steels by Plume Monitoring," *Transactions of the Korean Society of Machine and Tool Engineers*, Vol. 12, No. 6, pp. 14~21.
- (14) Yoon, S. U., Kim, J. Y., Song, K. S. and Cha, Y. H., 2006, "The Development of Automatic Inspection System for Flaw Detection in Welding Pipe," *Transactions of the Korean Society of Machine*.