

## 인공신경회로망을 이용한 GMA 용접의 공정자동화

조만호\*, 양상민(한밭대학교 기계공학부), 김옥현(충북대학교 기계공학부)

### Process Automation of Gas Metal Arc Welding Using Artificial Neural Network

M. H. Cho\*, S. M. Yang (Mech. Eng. Dept., HBU), O. H. Kim (Mech. Eng. Dept., CBU)

#### ABSTRACT

A CCD camera with a laser strip was applied to realize the automation of welding process in GMAW. It takes relatively long time to process image on-line control using the basic Hough transformation, but it has a tendency of robustness over the noise such spatter and arc light. The adaptive Hough transformation was used to extract the laser stripe and to obtain specific weld points. In this study, a neural network based on the generalized delta rule algorithm was adapted for the process control of GMA, such as welding speed, arc voltage and wire feeding speed.

**Key Words** : Gas Metal Arc Welding (GMAW, 가스메탈 아크용접), Vision sensor (비전센서), Hough transformation (하프변환)

#### 1. 서론

용접은 '기계산업에서 부품결합을 위한 공정 및 다양한 산업분야에 이용되고 있으나 작업 중 수반되는 아크 광(arc light), 스패터(spatter), 매연(fume)과 같은 열악한 작업환경으로 인해 작업자들이 기피함으로써 용접공정의 자동화에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 용접공정의 자동화를 실현하기 위해서는 용접선의 변화에 따른 정보를 실시간으로 측정 할 수 있는 센서의 개발이 필수적이다.<sup>1)</sup> 최근 용접 자동화에 적용되고 있는 센서로서는 아크센서, 와전류 센서, 비전센서 등이 있으나 아크센서는 반드시 위빙(waving)이 필요하고 박판의 겹치기 이음과 같은 위빙이 필요없는 경우에는 적용할수 없고<sup>2)</sup>, 와전류센서는 정밀도가 낮은 단점이 있다<sup>3)</sup>. 따라서 비전센서를 적용한 용접자동화 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 기존의 시스템은 영상처리 시간이 비교적 많이 소요되어 실시간 처리가 용이하지 않고, 용접 중 발생하는 아크 광과 스패터가 영상정보에 포함됨으로써 용접선을 추출하기 위한 영상처리에 많은 어려움이 수반되었다. 본 연구에서는 아크

광, 스패터와 같은 용접 외란에 강건하게 적용하는 Hough 변환 알고리즘을 개발하여 적용함으로써 영상처리 시간을 단축시켰고, 용접 개선부의 형상 정보를 신경회로망 학습을 통하여 용접공정변수를 제어할 수 있는 용접 자동화 시스템을 개발하였다.

#### 2. 용접선의 형상정보 추출을 위한 영상처리

용접공정에는 예측이 불가능한 다양한 공정변수가 존재 할 수 있고, 여러 가지 외란 등이 수반된다. 최근 영상처리 기법에 대한 연구가 다양하게 행해지고 있으나 비교적 장시간이 소요되므로 실시간(on-line) 제어에 적합한 영상처리 알고리즘의 개발이 필수적이다. 비전센서는 레이저 전반부에 점 광원을 평면광원으로 변환 시켜주는 원통형 렌즈(cylindrical lens)를 설치하였고, 레이저 스트립(strip) 빔만을 추출하기 위해 협대역통과 필터를 사용하였다. 그러나 아크 빛은 백색잡음에 가까운 전 대역의 파장을 가지고 있어 필터는 아크 빛이나 스패터 등의 노이즈를 완전히 차단하지 못

한다. 따라서 아크 빔과 스페터 등이 레이저 스트립 빔과 함께 CCD 카메라에 반응하므로 이들을 효과적으로 제거할 수 있는 영상처리 알고리즘이 수반되어야 한다.

기존의 Hough 변환은 영상의 윤곽 또는 직선이 매개변수로 표현될 수 있는 경우에 윤곽을 검출하는데 효과적인 방법으로써 직선의 정보를 Hough 평면상의 정보인  $\rho$ 와  $\theta$ 의 관계로 매핑시키는 것이다. 즉, 직선의 식을 식(1)과 같이 변환하여 Hough 변환에 적용한다.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (1)$$

Fig. 1은 Hough 변환의 원리를 나타낸 것이다. Hough 변환은 구하고자 하는 직선의 파라메타들의 정보 즉  $\rho, \theta$ 가 어느 정도 주어지지 않았을 때는 전 영역의  $\rho, \theta$ 를 증가시켜 가면서 직선을 검색해야 하기 때문에 처리시간이 많이 소요되는 단점이 있어 본 연구에서는 영상처리속도를 줄이기 위해 전 단계의 파라메타 ( $\rho_1, \theta_1$ )를 중심으로 일정 범위의 offset을 검색 범위로 설정하여 직선을 탐색하는데 이용하였다. 이것은 용접 모재 단면의 형상이 급격히 변화하지 않으며, 용접선의 불연속점이 존재하지 않는 특징이 있기 때문이다. Fig. 2는 V-groove에 레이저 스트립 빔을 투사한 영상의 영상처리 과정을 보여주고 있다<sup>4)</sup>. 좌측 상부는 노이즈가 포함된 초기 영상의 광도 분포이고, 우측 상부는 문턱치 값  $t_c$ 를 적용하여 반 이진화 처리를 수행한 이후의 영상정보이다. 노이즈는 일부 제거되었으나 강한 스페터와 겹반사가 남아 있음을 알 수 있다. 좌측 하부는 컨벌루션 문턱치값  $t_{con}$ 을 적용한 영상으로 스페터와 겹반사는 완전히 제거되었으나 용접선이 부분적으로 단락된 것을 알 수 있다. 우측 하부는 수정 Hough 변환한 이후의 영상으로 전 단계에서 얻어진 영상 정보를 이용하여 직선을 추출한 결과를 보여주고 있다. 이 부분은 전 단계의 영상정보와 추출된 3개의 직선을 겹쳐서 표현하였다. 두 시편의 높이가 동일한 경우, 3개의 직선을 검색함으로써 용접 특징점을 추출할 수 있고 이러한 용접 특징점을 이용하여 용접 추적점, 용접선의 깊이(D) 그리고 용접선의 폭(W)을 구할 수 있다.

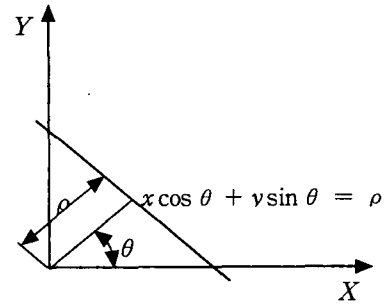


Fig. 1 The principle of Hough transformation

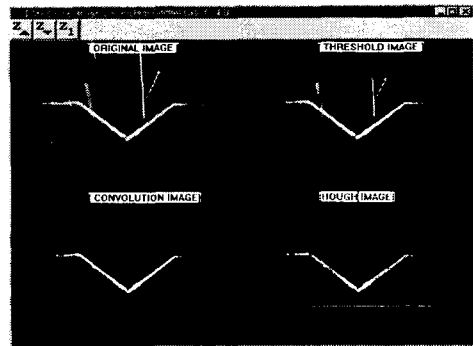


Fig. 2 Noise filtering and image processing.

### 3. 신경망 알고리즘을 적용한 용접 공정변수 추출

용접공정에서 나타나는 여러 가지 용접변수들은 서로 상관관계를 가지므로 용접변수에 대한 용접품질의 관계를 정량화 시키는 데는 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서 실제 용접공정에서 용접개선부의 깊이, 폭 및 개선부의 단면적 등에 따라 용접변수 - 아크전압, 용접전류, 와이어 이송속도, 용접속도 - 를 결정하는데는 여러 가지 어려움이 있다. 이러한 인자들의 관계는 특히 수학적 모델링이 거의 불가능하므로 실제 현장에서 용접할 때 각 모재의 두께에 따른 적절한 용접조건을 얻기 위해서는 시행착오법에 의한 실험적 데이터에 의존할 수밖에 없다. 용접변수를 선정할 때 시행착오를 많이 거치지 않고 적절한 용접변수를 선정하기 위하여 본 연구에서는 신경회로망을 이용하여 위의 복잡한 문제점을 해결하고자 한다. 이를 위한 신경회로망 구성도를 Fig. 3에 나타내었다. 영상정보를 통하여 얻은 시편의 폭과 깊이 정보를 입력 변수로 하고 입력변수에 따른 용접속도, 용접전압, 와이어의

이송속도를 출력변수로 한 2입력 3출력 구조를 구성하였다. 용접 비드의 형상 또는 크기는 용접 공정 변수, 즉, 아크 전압, 용접속도, 와이어 공급속도 등과 밀접한 관련이 있다. 하지만 용접공정은 이들의 관계를 유추하는데 있어서 언급된 요소들 이외에도 외부 환경적인 여건이나 실제 용접 중 발생하는 스파터(splatter), 배출가스, 고온으로 인한 시편의 변형으로 인해 수학적 모델링에 기반한 물리적 현상의 해를 구하기 어렵다. 즉, 용접은 복잡성(complexity)을 가지는 비선형 시스템(nonlinear system)이라고 할 수 있다. 이에 신경회로망은 유연성(flexible)을 가지고 비 선형적 복잡성에 대한 해결 능력이 우수하므로 다양한 공정 변수에 의한 복합적인 영향이 고려되는 용접에 있어서 좋은 품질의 용접 상태를 얻기 위한 용접 공정 변수들을 예측하는데 아주 적합하다<sup>5)</sup>. 따라서, 본 연구에서는 용접 품질에 영향을 주는 용접 공정 변수 중에 용접에 미치는 정도가 크다고 할 수 있는 용접 전압, 용접 속도, 와이어 공급속도와 용접 품질을 가늠할 수 있는 요소 중 용접 비드의 폭과 높이를 신경회로망 학습을 위한 데이터로 하여 최적의 신경회로망 구조를 결정하고자한다.

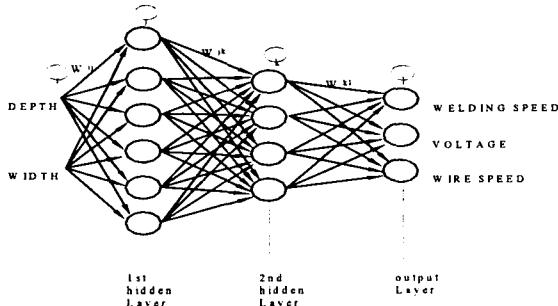


Fig. 3 Neural network for determining welding parameters

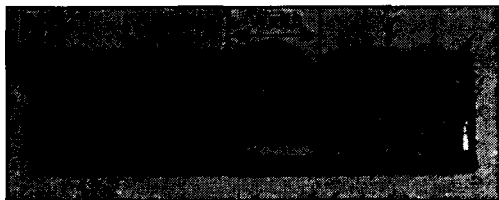


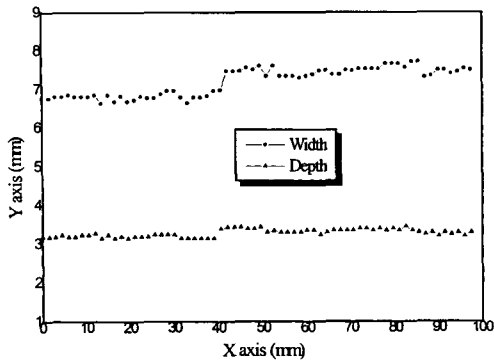
Fig. 4 Specimen Geometry

학습을 위한 샘플 데이터를 만들기 위하여 Fig. 4 형상의 두께 10 mm 시편에 폭 10 mm, 깊이 5 mm의 V형 시편을 제작하여 각각의 용접속도, 용접전압, 와이어공급속도를 단계적으로 변형시키면서 54개의 시편에 용접을 한 후 용접트루브의 폭과 깊이를 측정하여 샘플 데이터로 사용하였다. 학습을 통한 학습률, 모멘텀률, 은닉층의 수, 은닉층 units을 결정하기 위하여 4가지 조건 중 3조건을 고정시키고 나머지를 변형시켜 가면서 실험을 하였고, 반복 횟수는 100,000번으로 하였다. 원하는 오차는 0.01% 이내로 하였다. 먼저 은닉층의 수를 1~3, 은닉층 unit 4~12, 모멘텀률을 0.5~0.9, 학습률을 0.5~0.9의 범위에서 실험하였고 학습률 : 0.5, 모멘텀률 : 0.7, 은닉층의 수 : 2, 은닉층 units : 8, 6인 경우를 최적의 경우로 결정하였다. Fig. 5는 학습된 정보를 이용하여 용접을 수행하기 위한 용접시편으로 용접선의 폭과 깊이가 갑자기 증가하는 경우와 감소하는 경우 2가지 형상을 이용하였다. Fig. 6(a)는 급 확대 시편의 용접을 수행한 후의 형상이다. Fig. 6(b)는 영상처리 과정에서 폭과 깊이가 급 확대되는 시편의 폭과 깊이 정보이고 Fig. 6(c)는 급 확대 시편의 용접전압, 용접속도, 와이어의 이송속도의 정보이다. 급 확대부에서 용접전압과 와이어 이송속도가 갑자기 증가했음을 알 수 있다. Fig. 6(d)는 급 축소 시편의 폭과 깊이 정보이고 Fig. 6(e)는 급 축소 시편의 용접전압, 용접속도, 와이어의 이송속도의 정보이다. 급 축소부에서 용접전압과 와이어 이송속도가 갑자기 감소했음을 알 수 있다. 학습된 정보로부터 얻은 용접공정 변수의 결과로 용접선의 폭과 깊이가 급확대, 축소 시 용접전압과 와이어 이송속도가 급 증가 혹은 감소 함을 알 수 있고 용접속도는 거의 일정함을 알 수 있었다. 이는 학습된 정보에서 용접선의 폭이 6mm 이내에서 10mm의 입력조건으로 형성되었기 때문으로 사료된다.

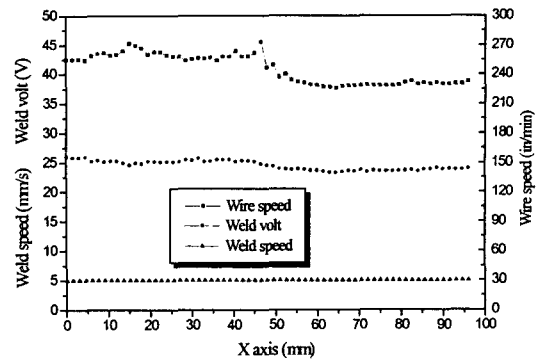


(a)

#### 4. 실험결과 및 고찰

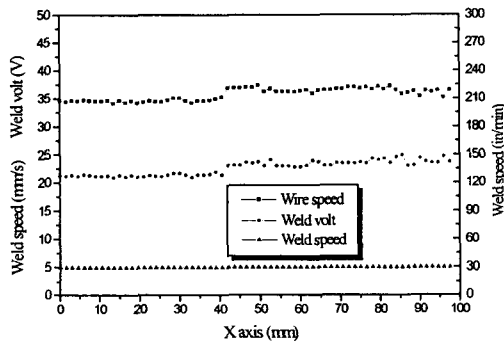


(b)

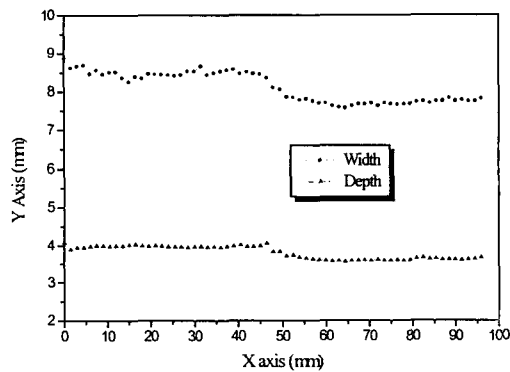


(e)

Fig. 6 The experimental results of weld process control



(c)



(d)

### 5. 결론

비전센서와 신경회로망 이론을 적용하여 용접공정에서 용접속도, 용접전압, 와이어 이송속도등의 공정변수를 용접개선부의 변화가 급 확대, 축소의 경우와 점차 확대 축소의 경우에 적용시켜 수행가능함을 보여 주었으며 향후 다양한 변화가 있는 시편의 경우에도 용접공정제어가 가능하리라 사료된다.

### 참고문헌

1. 이철원, 나석주, "용접자동화를 위한 시각센서", 대한용접학회지, 제11권, 제3호, pp. 10-21, 1993.
2. Y. Sugitani, Y. Kobayashi, and M. Murayama, "Development and Application of Automatic High Speed Rotation Arc Welding", Welding International, Vol. 5, No.7, pp.577~583, 1991.
3. 유병희, 김재용, "박판 맞대기 용접에서 전자식 센서를 이용한 용접선 자동 추적 시스템에 관한 연구", 대한 용접학회지, 제15권, 제1호, pp81~91, 1997.
4. 조택동, 김옥현, 양상민, 조만호, "GMAW에서 시각센서를 이용한 용접선 정보의 추출과 와이어 이송속도의 제어에 관한 연구", 대한용접학회지, 제19권, 제6호, pp. 32-39, 2001.
5. 문형순, 이승형, 나석주, "신경회로망을 이용한 필릿 이음부의 GMA 용접변수 선정에 관한 연구", 대한용접학회지, 제11권, 제4호, pp. 44~56, 1993.