

# 바이프리즘 스테레오 비전 시스템을 이용한 GMA용접 비드의 3차원 형상 측정

## Measurement of 3D GMAW Bead Profile using Biprism Stereo Vision System

이지혜\*, 이두현\*\*, 유중돈\*

\* 한국과학기술원 기계공학과

\*\* (주)바이옵트로

### 1. 서 론

아크용접에서 비드의 폭과 높이 등의 형상 정보는 용접부의 기계적 강도에 매우 큰 영향을 끼치므로 용접 품질을 평가하는데 중요한 기준이 되며, 용접 비드의 3차원 형상 측정은 용접 품질을 보장하거나 공정 제어에 매우 중요하다. GMA 용접 공정은 강한 아크빛과 스파터, 매연 등으로 인해 비전 센서를 적용하기 어려운 공정 중 하나로 알려져 있다. 용융지 표면의 2차원 영상을 얻기 위해 동축 비전 센서<sup>1)</sup>와 레이저 조명<sup>2)</sup>을 사용하는 연구가 진행되었다. 한 대의 카메라를 사용하여 3차원 용융지 형상을 측정하려는 연구가 진행되었으나<sup>3)</sup> 선택된 평면에서만 신뢰성 있는 측정이 가능하므로 응용에는 제한이 있었다. Lee등<sup>4)</sup>은 한 대의 CCD 카메라와 바이프리즘(biprism)을 이용하여 스테레오 화상을 획득할 수 있는 바이프리즘 스테레오 비전 시스템을 제안하였다. 이 방법은 한 개의 렌즈와 카메라를 사용하므로 두 대의 카메라를 사용하는 기존 스테레오 비전 시스템에 비해 대응점 문제와 보정 문제를 쉽게 해결할 수 있으며 화상 처리 시간이 짧다. 본 연구는 바이프리즘과 하나의 CCD 카메라를 사용하여 GMA 용접 비드 형상을 계산하는 것을 목적으로 한다.

### 2. 바이프리즘 스테레오 비전 시스템

바이프리즘 비전 센서의 원리는 Fig.1에 나타난 바와 같다. 이때,  $\alpha$ 는 바이프리즘의 경사각, 첨자 p와 c는 각각 프리즘좌표계와 카메라 좌표계를 표시한다. 임의의 점  $\bar{x}_p$ 는 바이프리즘의 두 경사면에 의해 한 개의 CCD 면에 스테레오 영상 쌍을 형성하며 이것은 바이프리즘 없이 두 개의 가상점을 가정하여 투영하는 것과 같은 효과를 지닌다. 좌우측 가상점  $\bar{x}_{pl}$ 과  $\bar{x}_{pr}$ 은 다음과 같다.

$$\bar{x}_{pl} = T_l \bar{x}_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\tan \delta_p \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \bar{x}_p, \quad \bar{x}_{pr} = T_r \bar{x}_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \tan \delta_p \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \bar{x}_p \quad (1)$$

이때,  $\delta_p$ 는 바이프리즘의 변환각(deviation angle)을, 첨자 l과 r은 각각 좌우측을 의미하며 변환각  $\delta_p$ 는 프리즘 굴절률 n과 바이프리즘의 경사각  $\alpha$ 의 함수이다.

프리즘 좌표계와 카메라 좌표계가  $t_z$ 의 변위를 가진다면, 두 개의 가상점이 영상면에 투영될 때 실제 영상면에서의 픽셀좌표는 카메라 좌표계에 대해 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} u_l \\ v_l \end{bmatrix} = \frac{1}{z_p + t_z} \begin{bmatrix} \alpha_u(x_p - z_p \tan \delta_p) + u_0(z_p + t_z) \\ \alpha_v y_p + v_0(z_p + t_z) \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} u_r \\ v_r \end{bmatrix} = \frac{1}{z_p + t_z} \begin{bmatrix} \alpha_u(x_p + z_p \tan \delta_p) + u_0(z_p + t_z) \\ \alpha_v y_p + v_0(z_p + t_z) \end{bmatrix} \quad (2)$$

이때, u와 v는 각각 수평 수직 방향 픽셀 위치,  $(\alpha_u, \alpha_v)$ 는 픽셀폭에 대한 초점거리와 픽셀높이에 대한 초점거리,  $(u_0, v_0)$ 는 영상평면의 중심을 나타낸다. 식(2)에서  $v_l$ 과  $v_r$ 이 같음을 알 수 있으며 이것은 대응점이 수평방향 스캔라인 위에 위치함을 나타낸다. 만일 좌우측 영상에서 스캔라인을 따라 대응점이 결정되면 즉,  $u_l, u_r, v_l, v_r$ 이 결정되면 카메라 좌표계에 대한 3차원 공간상의 실제 위치는 식(3)과 같이 유도된다. 용접시 획득한 영상에서 용융지 혹은 용접 비드의 대응점이 결정되면 3차원 형상을 계산할 수 있을 것이다.

$$x_c = \frac{z_c}{\alpha_u} \left( \frac{u_r + u_t}{2} - u_0 \right), y_c = \frac{z_c}{\alpha_v} \left( \frac{v_r + v_t}{2} - v_0 \right), z_c = \frac{t_z}{1 - \frac{\sqrt{(\xi_u/\alpha_u)^2 + (\xi_v/\alpha_v)^2}}{2 \tan \delta_p}} \quad (3)$$

### 3. 실험

실험 장치는 Fig.2에 보인 바와 같이 바이프리즘 스테레오 비전 센서, 화상처리 보드, 아날로그 모니터, GMA 용접 시스템, 아크 빛 차단막, 3축 직교형 로봇 등으로 구성된다. 비전 센서는 용접 토치의 뒤에 설치되어 토치와 함께 직교 좌표 로봇에 의하여 이동한다. 바이프리즘 스테레오 비전 센서는 보호용 유리판, 광학 필터(880nm 대역 통과 필터), 바이프리즘, CCD 카메라로 구성되며 용융지 및 용접 비드의 화상획득에 사용된다. 획득한 화상은 DSP 화상 처리보드(삼성전자 MVB02)를 이용하여 640(H)×480(V)로 디지털이징하여 저장하였다.

GMA 용접은 용량 350A인 정전압 인버터 용접기를 사용하였고, 유량 20 ℓ/min의 아르곤 100%를 보호가스로 사용하였다. 용접봉은 직경이 1.2mm인 YGW-15를 사용하여 저탄소강 SS41에 비드(bead-on-plate) 용접하였다. 스프레이 모드와 험핑 비드가 발생하는 경우의 화상을 획득하였다.

### 4. 결과

GMA 용접시 스프레이 모드에서 획득한 바이프리즘 영상과 픽셀 좌표계를 Fig.3에 나타내었다. 스캔라인을 따라 용접 비드 형상의 대응점을 추출하면 비드의 3차원 형상을 구할 수 있다.

Fig.3의 등밝기값 분포를 나타낸 Fig.4에서 영상의 등밝기값 곡선이 비드 폭, 높이 등의 정보를 포함하므로, 이것을 대응점으로 추출하여 비드의 3차원 형상을 구할 수 있다. 비드 폭과 용융지 길이 정보를 포함하도록 용융지 경계에 가까이 위치한 등밝기값 곡선을 선택하는 것이 필요하다. 용융지 맨 아래 스캔 라인의 평균값을 등밝기값 곡선의 기준 밝기값으로 정하였다. 스캔라인을 따라 5×1 매디안 필터링한 후, 좌우측 영상의 각각 왼쪽과 오른쪽에서부터 스캔하면서 처음으로 기준 밝기값에 이르는 점을 등밝기값 곡선의 요소로 선정하였으며 이를 대응점으로 결정하였다.

Fig.3의 영상에서 선정한 등밝기값 곡선을 Fig.4(a)에 나타내었다. 등밝기값 곡선으로부터 계산한 3차원 비드형상은 Fig.4(b)~Fig.4(c)와 같으며 이때 월드 좌표계의  $x_w, y_w, z_w$ 축은 각각 용접 비드의 폭, 길이, 높이방향을 나타낸다. 비드 높이 윤곽은 낮은 해상도로 인해 심하게 변화하지만 용접봉에서 멀어질수록 높이가 증가하는 경향을 잘 나타낸다. 계산 결과와 비교하기 위하여 용접이 끝난 후 비드의 영상을 획득하여 용접부 크기를 실험적으로 측정하였다. 비드 폭의 오차는 0.27%, 높이의 오차는 9.7%이다. 오차는 스프레이 모드에서의 이 모드와 대응점 추출오차, 맨 아래 용융지 스캔라인에서 용융지 경계 선택 오류, 용접시 관찰한 위치와 실제 측정된 위치의 불일치등에 의해 발생한 것으로 추측된다.

험핑비드가 발생하는 경우의 용융지 형상을 Fig.5(a)에 나타내었다. 스프레이 모드의 경우와 유사한 방법으로 등밝기값 곡선을 추출하여 대응점을 선정하였다. 계산된 험핑 비드의 3차원 형상은 Fig.5(b)~Fig.5(c)와 같으며 일반적인 험핑비드의 형상을 나타낸다. 험핑비드에서 높이의 차와 최대 폭을 측정하였을 때 폭의 경우 0.47%의 오차를, 높이의 경우 2.92%의 오차를 보인다. 오차의 원인은 스프레이 모드에서의 경우와 유사한 것으로 생각된다.

지금까지 바이프리즘 스테레오 비전 센서를 이용하여 스프레이 모드와 험핑비드에서 3차원 비드 윤곽을 구하였고 이로부터 비드의 폭과 길이, 높이를 측정하였다. 계산 결과와 실제 측정된 용접 비드의 크기가 개략적으로 일치하는 경향을 보이며 용접 공정의 거친 환경을 고려할 때 바이프리즘 스테레오 비전 센서를 공정 모니터링과 제어에 적용하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

### 5. 결론

- (1) 바이프리즘 스테레오 비전 시스템을 GMA 용접에 적용하여 비드의 3차원 형상을 계산하였다.
- (2) 계산된 용접 비드의 폭과 길이, 높이는 실제 측정치와 개략적으로 일치하는 경향을 보인다.

참고문헌

1. Richardson R.W., Gutow R.A., Anderson R.A. and Farson, D.F., : Coaxial arc weld pool viewing for process monitoring and control, *Welding Journal*, 63-3(1984), pp43-50
2. Nomura H., Middle J.E., Masumoto I., *Sensors and Control Systems in Arc Welding*, Chapman & Hall. 1994
3. Kovacevic R., Zhang Y.M., Li L. : Monitoring of Weld Joint Penetration based on Weld Pool Geometrical Appearance, *Welding Journal*, 75-10(1993), pp317s-329s.
4. Lee D.H., Kweon I.S., Cipolla R : A Biprism Stereo Camera System, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'99)*, Fort Collins, USA, 1999, pp.8287

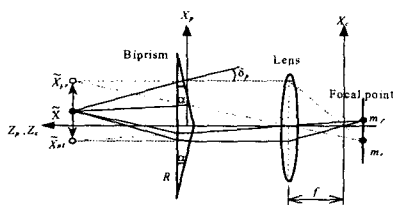


Fig.1 Principle of biprism

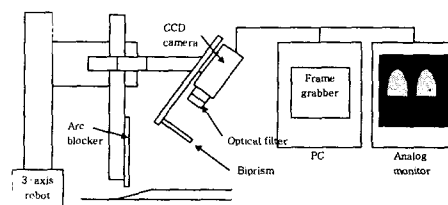


Fig.2 Overall system

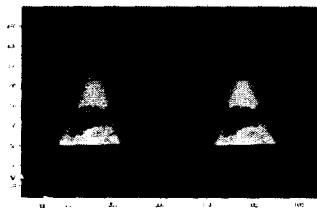


Fig.3 biprism image of molten pool surface

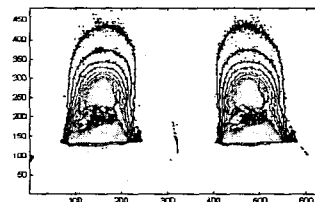
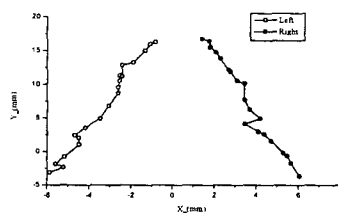


Fig.4 Iso-intensity contour



(a) Corresponding points



(b) 3D bead geometry

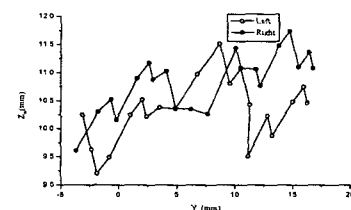
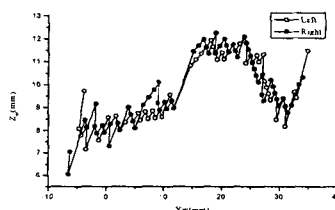


Fig.4 Image processing results of spray mode image



(a) Corresponding points



(b) 3D bead geometry

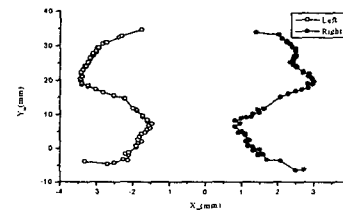


Fig.5 Image processing results of humping bead image