

가스 메탈 아크 용접에서 추적성능 향상을 위한 성능 비교 연구

이정익*

(논문접수일 2006. 8. 22, 심사완료일 2006. 10. 2)

A Study of the Comparison for Performance Advancement of Seam Tracking in Gas Metal Arc Welding

Jeong-ick Lee*

Abstract

There have been continuous efforts for automation of joint tracking system. This automation process is mainly used to do in root pass of gas metal arc welding in the field of heavy industry and shipbuilding etc. For automation, it is important using of vision sensor. Welding robot with vision sensor is used for weld seam tracking on welding fabrication. Recently, it is used to on post-weld inspection for weld quality evaluation. For real time seam tracking, it is very important role in vision process technique. Vision process is included in filtering and thinning, segmentation processing, feature extraction and recognition. In this paper, it has shown performance comparison results of seam tracking for real time root pass on gas metal arc welding. It can be concluded better segment splitting method than iterative averaging technique in the performance results of seam tracking.

Key Words : Performance of Seam Tracking(용접선 추적 성능), Vision Processing(비전 처리), Root Pass(루트 용접), Previous Algorithm(기존 알고리즘), Iterative Averaging Technique(반복적 평균 기법), Segment Splitting Method(절점 분할법)

1. 서론

최근, 구조물의 안전에 대한 관심이 증가함에 따라 건축 및 기계 구조물에서 빼놓을 수 없는 공정인 용접에 있어서의 품질 관리가 중요한 문제로 대두되고 있다. 또한, 산업이 발달하여 여러 금속 및 비금속이 개발되었으며 이와 더불어 이

들 재료의 제품화에 좀더 복잡하고 섬세한 제작기술 및 높은 신뢰성을 갖는 연결 부위의 품질이 요구되고 있는 것이 현대 산업의 현실인 것이다. 특히, 금속 이음을 대표하는 용접의 경우는 수작업으로 수행될 경우의 문제점들 즉, 일정한 용접 조건에서조차 동일한 용접 품질을 얻을 수 없는 제품 품질의 비균일성, 아크광과 고열, 스패터, 매연 등의 열악한 작업환

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

경, 인건비 및 용접 결합의 발견, 보수에 따르는 비용의 상승 등의 해결에 필수적인 자동화를 위한 꾸준한 노력이 있어 왔다. 이러한 자동화 과정 중의 대부분은 미리 프로그램된 용접변수를 사용하여 높은 성능을 제공하는 시스템을 사용하고 있다. 하지만, 이러한 용접 자동화 시스템에서조차 용접 과정에 발생하는 외란에 대한 보정을 해줄 수 있는 변수들을 찾기는 어려운 점이 문제되고 있다. 따라서, 실제 공정상에서의 모니터링(monitring)과 그에 의한 용접 변수의 적응 제어가 계속 연구되어지고 있다. 자동 용접에서 볼 수 있는 대표적인 문제점은 용접 토치(weld torch)의 오프셋(off-set)과 비드 폭(bead width), 용융지의 크기, 용입 깊이(penetration) 등이 있다. 자동 용접 공정에서의 용접 품질 제어에는 다양한 기술이 사용되고 있다.

센서를 이용하는 방법에는 through-the-Arc 센싱(sensing)이나 주사빔(scanning beam)방식으로부터 혹은, 레이저를 원통형 렌즈를 통과시켜 얻어진 레이저 평면이 모재에 투사(projection)됨으로써 모재 상에 형성되는 레이저 띠로부터 용접부재의 여러 가지 정보를 특정한 광학 센서를 사용하여 알아내는 방법이 있다. 용접물의 품질은 비드 폭과 용입 깊이에 의해 결정된다. 이러한 용접부위의 개선부에서 양호한 용접 비드를 통한 비드폭과 용입 깊이를 얻기 위해서는 정확한 용접선 추적(seam tracking)을 해야 한다. 비전센서를 이용하여 용접선 추적을 수행하려는 시도는 여러 차례 시행되어왔다.

Clocks⁽¹⁾은 박판의 MIG용접에서 레이저선 정보를 처리하여 용접부 이음 형상을 정의하는 알고리즘을 제시하였다. Agapakis^(2,3)는 용접부의 기하학적 영상 정보 인식과 실시간 용접 변수 제어 알고리즘을 제시하였고, 로봇을 이용한 용접에 적용시킬 수 있음을 보였다. Huber⁽⁴⁾는 위치와 갭을 알아내는 방법으로 레이저 비전을 이용하여 관 용접에 적용하였다. Nakata^(5,6)는 광원, 카메라 위치, 분해능, 카메라의 노출 등을 통하여 실험적으로 광학 기구의 최적 기하학적 배치에 대하여 연구하였고, He-Ne 레이저, 대역 통과 필터(band pass filter), CCD카메라 등을 이용하여 GTA 용접시 용융지 전방 3mm에 개선 정보를 설정하고 용접선을 자동 추적하는 시스템을 구성하여 연구를 수행한 바 있다. 그러나 이상의 연구는 모두 실제적으로 용접선 추적을 수행하기 위한 알고리즘 제안이나 연구방법의 제시에 지나지 않았다.

본 연구에서는 이전에 하드웨어에 의존했던 연구들과는 달리 추적 알고리즘에 의해 추적성능을 개선하고자 수행한 연구이다. 그 가운데 이 실험의 단층 용접의 용접선 추적 성능을 우선 비교한 것으로서 반복적 평균 기법을 통한 루트점

찾기에 의한 용접선을 추적하는 기존 방법⁽⁷⁾과 분할법을 적용한 개발 알고리즘에 의한 새로운 추적방법을 비교하여 두 가지 방법의 통한 추적성능을 비교, 검토하는데 연구목적을 두고 있다.

2. 용접선 추적

2.1 비전센서의 원리

현재 용접 현장에서 적용되는 비전센서는 대부분 아크, 스파터 등의 노이즈에 대처하여 특별한 조명을 사용하는 능동식 비전센서이고, 광원으로는 레이저 등의 단색광을 이용한다. 능동식 비전센서는 광학 삼각법을 사용하며, 이는 광원과 비전센서를 기준선으로 하여 센서에 상이 맺히는 위치에 따라 삼각법에 의해 물체까지의 거리를 구하는 방식으로 처리시간이 짧고 구조가 간단하여 널리 쓰이고 있다. 광학 삼각법을 이용하는 방식은 작동원리와 광원에 따라 투영된 패턴을 이용하는 방식과 주사빔을 이용하는 방식으로 나눌 수 있다. 일반적으로 주사빔 방식의 센서는 구조화된 빛의 패턴을 이용한 센서에 비해 노이즈에 강한 장점이 있다. 본 연구에서 이용된 레이저 비전 센서는 주사빔의 원리를 이용한 센서이다.

2.2 비전처리

일반적으로 비전처리에서는 강도 이미지(intensity image) 또는 거리 이미지(range image)를 이용한다. 강도 이미지는 카메라 화상에서 각각의 픽셀의 명암도(gray level)를 말하고, 거리 이미지는 픽셀이 갖고 있는 거리 정보를 말한다. 용접선 추적에서는 거리 정보가 요구되므로 강도 이미지 보다 거리 이미지를 이용하여야 한다. 비전센서에서 나온 거리 이미지를 카메라 좌표에서의 좌표값으로 변환된다. 비전처리 과정에서는 이 좌표값을 이용하여 원하는 정보를 얻게 된다. 거리 이미지는 물체의 단면형상의 좌표값을 나타내게 되고, 이로부터 용접선 추적에 필요한 정보를 추출하게 된다. 이를 위해서는 다음 순서의 비전처리가 반복적으로 수행된다.

첫째, 노이즈를 제거하는 작업이다. 비전센서에 의해 획득된 데이터는 아크광, 스파터, 경면반사 및 겹반사 등에 의한 노이즈를 함유한다. 따라서, 거리 이미지의 필터링 작업을 수행한다.

둘째, 영역 분할 처리(segmentation)이다. 필터링된 데이터로부터 계속된 형상의 특징을 추출하기 위해 직선 세그먼트로 간략화하고 절점(break point)을 추출한다.

셋째, 용접점을 추출하게 된다. 영역 분할 처리를 거친 절점으로부터 V 값을 나타내는 특징점 및 용접점을 얻는다.

2.2.1 비전 전처리

비전 전처리(vision preprocessing)는 이미지의 질을 개선하거나 이미지를 특정한 응용 목적에 알맞도록 변환시키는 등의 이미지 처리를 의미한다. 여기서는 평활화(smoothing), 예리화(sharpening), 고주파 차단, 저주파 차단 등의 영상 조작 등이 포함된다. 비전 시스템에 의해 데이터의 센서 보정(sensor calibration) 결과로 얻어진 원 단면 형상(raw profile)은 256개의 (y, z) 좌표 값으로 표현된다. y는 용접시의 비드 폭 방향이고, z는 용접시의 용융지 깊이 방향을 의미하는 것으로 정의한다. 그러나, 이러한 단면 형상은 잘못 인식된 노이즈 포인트들을 포함할 수 있다. 단면 형상을 평활화하고 노이즈를 제거하기 위하여 필터링 작업이 필요하다. 2차원 윈도우에서 한 값을 그 이웃한 값들의 중간값으로 바꾸어 줌으로서 프로파일상 대부분의 다른 고주파 성분에는 크게 영향을 주지 않고 고립된 노이즈 성분을 제거하여 노이즈를 줄이는 비선형적 처리기법인 미디언 필터링이 효과적이다. 필터링의 범위는 2차원 윈도우 크기를 바꾸어 줌으로서 변화시킬 수 있다. 비교적 큰 2차원 윈도우에 대해서는 날카로운 V 코너와 같은 프로파일의 몇 가지 특성을 잃을 수 있으므로 이웃한 3개 또는 5개 프로파일 데이터의 2차원 윈도우 크기를 잡아주는 것이 적당하다. 본 연구에서는 비전 전처리 과정이 비전 제어 장치로부터 수행되어 나온 결과로 영역 분할 처리나 특징점 추출이 이용되나 비전 전처리 과정에서 소프트웨어적으로 갭 충전(gap filling)등의 효과는 얻을 수 있다.

2.2.2 영역 분할 처리 알고리즘의 비교

프로파일 상에서 특징들을 안정하게 인식하기 위하여 내부적으로는 비교적 큰 방향의 변화를 찾는 것과 직선 세그먼트들로 근사화하는 것에 기초하여 영역 분할 처리(segmentation processing)를 수행한다. 이 처리는 세그먼트들 사이의 절점(break point)을 저장해서 상당한 데이터 압축효과를 기대할 수 있다. 이러한 영역 분할 처리를 통해 절점을 효과적으로 표현함에 있어 본 연구에서는 두 가지 방법을 사용하였다. 먼저 기존의 연구⁽⁷⁾에서는 기울기 차가 한계값 이상이면 절점으로 정하는 방법이었다. 이에 대한 표현은 식 (1)과 Fig. 1에 나타내었다. 이 방법은 알고리즘이 비교적 간단한 반면 조인트의 다양한 형태를 표현하는데 한계가 있다.

$$\left| \frac{z_{i+1} - z_i}{y_{i+1} - y_i} - \frac{z_i - z_{i-1}}{y_i - y_{i-1}} \right| \geq tolerance, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

본 연구에서는 이를 보완하기 위해서 용접품질 검사에 사용할 수 있을 만큼 다양한 조인트 형태를 표현할 수 있는 새로운 영역 분할 처리 및 절점 추출 알고리즘을 제시하였다. 이에 대한 표현은 식 (2)와 Fig. 2에 나타내었다. 여기에는 비전센서에 의해 구해지는 프로파일의 형태를 크게 4가지로 구분하였다. z_i 는 i 번째 프로파일 상의 z좌표 값, m_1 , m_2 , d_1 , d_2 는 영역 분할 처리의 기초로 사용하기 적당한 거리를 구한 임의의 상수로서 실험을 통하여 최적의 상태가 되도록 발견적 방법(heuristic method)으로 설정하였다.

$$\begin{aligned} &|z_i - z_{i-m_1}| \leq d_1 \text{ and } |z_i - z_{i+m_2}| \geq d_2 \quad (a) \\ \text{or, } &z_i - z_{i-m_2} \geq d_2 \text{ and } z_i - z_{i+m_2} \geq d_2 \quad (b) \quad (2) \\ \text{or, } &z_i - z_{i-m_2} \leq -d_2 \text{ and } z_i - z_{i+m_2} \leq -d_2 \quad (c) \\ \text{or, } &|z_i - z_{i-m_1}| \geq d_2 \text{ and } |z_i - z_{i+m_2}| \leq d_1 \quad (d) \end{aligned}$$

본 연구에서는 m_1 을 3, m_2 를 4, d_1 을 3, d_2 를 6으로 사용하였다. m_1 , m_2 , d_1 , d_2 의 기하학적 의미는 가운데 절점 z_i 을 가운데 두고 m_1 또는 m_2 의 거리가 떨어진 양쪽 절점간의 깊이값 크기가 d_1 또는 d_2 이상인가, 이하인가에 따라 영역 분

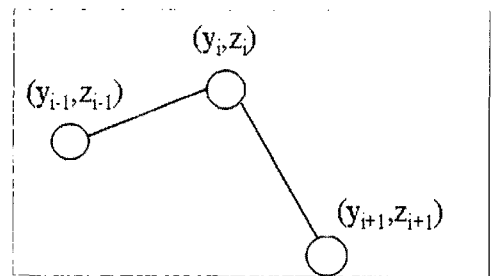


Fig. 1 Line segment of the profile

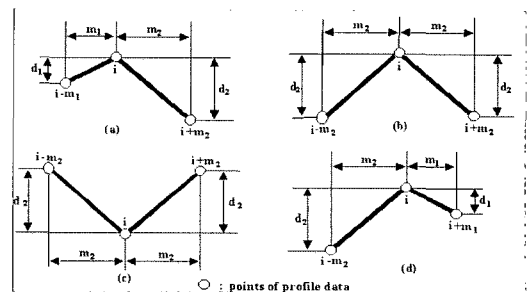


Fig. 2 Description of the segmentation processing

할 처리의 기초가 되는 4가지 형태의 조인트나 비드의 일반적인 특징을 유도해 낼 수 있다. 위 조건을 만족하는 프로파일 데이터 좌표값(y_i, z_i)을 각 직선 세그먼트들 사이의 절점으로 정하고 저장한다.

2.2.3 반복적 평균 기법을 이용한 특징점 추출 및 루트점 추적

앞서 얻은 영역 분할 처리 기법인 식 (1)과 Fig. 1을 통해 절점들로부터 다음 단계인 의미를 가지는 특징들을 추출한다.

영역 분할 처리에 기초하여 조인트 혹은 용접 비드의 일반적인 특징을 유도하기 위해 일반적인 특징을 위의 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다. 이러한 특징점과 특징선에 대한 정보들을 찾는 작업을 특징 추출이라 한다. 이후 이러한 정보를 이용하여 용접 추적점(tracking point)을 결정한다. 연구에서 사용된 V형 그루브에 대한 특징 추출 알고리즘은 Smati, Smith 그리고 Yapp에 의해 거리 이미지에 적합하도록 고안된 V형 그루브 검출 알고리즘(V-groove detection algorithm)⁽⁷⁾을 수정한 것이다. 이 특징 추출 알고리즘은 반복적 평균 기법(iterative averaging technique)⁽⁷⁾을 기초로 한다. 프로파일 상의 모든 z축 값을 평균하여 \bar{z}_0 을 구하고 영역 분할 처리를 통해 얻어진 절점들 중에서 V형 그루브에 대한 알고리즘을 이용하여 Fig. 3에서 중앙 기준점 P3를 중심으로 좌측 기준점(L) P2와 우측 기준점(R) P4를 찾는다. 허용폭(tolerance band)은 조인트의 크기와 레이저 카메라의 분해능(resolution)에 따라 달라진다. 그 다음 최종적으로, 좌측 기준점 P2와 우측 기준점 P4사이의 중앙 기준점(center reference point) P3를 찾는 알고리즘은 아래 Appendix 1에 나타내었다. 이 방법은 Fig. 3의 V groove를 중심으로 좌우측 flat surface가 용접중에도 큰 변화가 없다는 가정하에서 개발된 것으로 추적 루트점을 찾을때 새로운 개발 알고리즘에 비해 몇번의 tolerance band를 사용하여 V groove의 양단 에지점을 구할 수 있으므로 시간적으로는 비교적 빠른

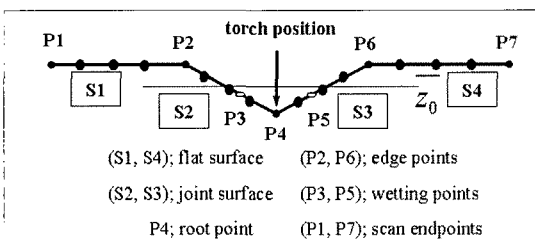


Fig. 3 Characteristic features of a V grooved weld joint

반면 센서의 노이즈나 아크광이 심할 경우 추적도중 추적점을 잃어버릴 수 있다. 따라서 본 연구에서는 용접선 경로가 크게 변화하지 않는다는 가정 하에 추적도중 추적점을 상실할 경우 이전의 추적점을 참고하는 방법을 사용하였다. 또한, 중앙점은 V groove의 양단 에지점이 정해지면 이 두점 사이의 깊이방향(z축)에서 가장 낮은 값으로 선정하였다.

2.2.4 분할법 알고리즘을 이용한 특징점 추출 및 루트점 추적

연구에서 사용된 V형 그루브에 대한 특징점 추출 알고리즘은 기준선에서 거리가 최대인 점들을 특징점으로 추출하였다. Fig. 4는 거리 이미지와 절점, 그리고 좌우측 기준점의 위치를 표시한 그림이다.

Fig. 4는 전형적인 V형 그루브의 형상을 보여주고 있으며, 여기서 z축의 모든 값의 평균값 \bar{z} 을 구하고, 이를 기준으로 용접점을 찾기 위해 V그루브를 나타내는 부분에서 평균선을 설정하였다. 기준점으로서는 영역 분할 처리를 통해 근사화된 절점들 중에서 V형 그루브의 왼쪽과 오른쪽 모서리점, 즉 V그루브의 양쪽 끝점을 좌우측 기준점(left and right reference points)으로 둔다. 좌측 기준점은 평균선과 V그루브 좌측선이 만나는 점과 거리 이미지의 첫 번째 점을 연결한 직선으로부터 가장 거리가 먼 점을, 우측 기준점은 평균선과 V그루브 우측선이 만나는 점과 거리 이미지의 마지막

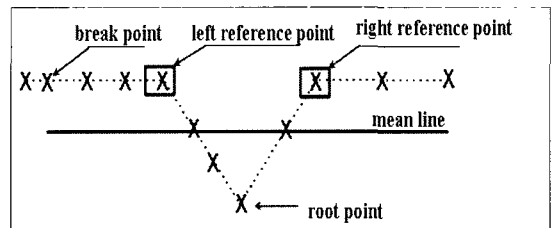


Fig. 4 Characteristic of break points and right and left reference point

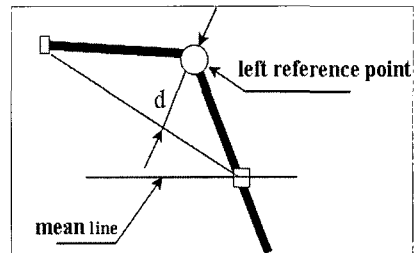


Fig. 5 Detection method of left reference point

점을 연결한 직선으로부터 가장 거리가 먼 점을 설정한다. Fig. 5는 좌측 기준점을 찾는 방법을 나타낸 것이며, 우측 기준점의 찾는 방법도 이와 같은 방법으로 찾는다.

평균값, V groove 경사면(joint surface)과 평균선이 만나는 두 값 및 좌우측 기준점을 구하고, 두 기준점 사이에서 그루브의 최하점에 해당되는 절점을 찾아 그 점을 세 번째 기준점인 중앙 기준점으로 설정하여 이로부터 정확한 용접 위치를 추출해 낸다. 그러나, 이 점이 정확한 중앙 기준점이라 확신할 수 없으므로, 이점을 기준으로 V groove에서 가장 가까운 앞 뒤 절점을 선택하여 각각의 에지점과 연결하여 두 개의 직선을 구하는데, 이때 이들 각 프로파일의 좌표값을 최소 제곱 오차법(least square error method)을 이용하고, 이들 두직선이 만나는 점을 용접 기준점으로 결정한다. 이 방법은 최소점을 찾는 방법에 의해 용접 기준점을 선정하는 것보다 정확한 용접 기준점을 찾을 수는 있지만 추적점을 얻는 시간은 반복적 평균 기법의 방법보다 많은 시간이 소요된다. 이에 대한 알고리즘은 Appendix 2에 나타내었다.

2.3 용접선 추적 신호 처리

각 프로파일에서 인식한 용접점을 이용하여 용접선을 추적함에 있어 신뢰도를 향상시키기 위해 이전 추적점을 참고할 필요가 있다. 실제 용접선의 경향을 현재의 데이터에 적용하여 신뢰성을 높이는 방법으로 본 연구에서는 가중 이동평균법(weighted moving average method)의 하나인 지수평활법(exponential smoothing method)을 추적 신호 처리에 이용하였다. 식 (3), (4)는 용접선 추적에 적용된 식이다.

$$y_n(n) = (1 - m)y_n(n - 1) + my(n) \quad (3)$$

$$z_n(n) = (1 - m)z_n(n - 1) + mz(n) \quad (4)$$

여기서, m 은 가중치, $y_n(n - 1)$, $z_n(n - 1)$ 은 이전 이동평균값, $y(n)$, $z(n)$ 은 현재 추출된 용접 점의 위치값, $y_n(n)$, $z_n(n)$ 은 현재의 이동평균값이다. 가중치는 용접공정과 용접조건에 따라 최적의 상황이 다름을 알 수 있었는데, 본 연구에서는 실험을 통해 얻은 m 의 값을 0.25로 선정하였을 때 추적이 잘 수행되었다.

3. 실험

3.1 시스템 구성

실험 장치는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 용접 시스템부와 비전 시스템부로 구성된다. 실험기기의 구성은 Table 1에

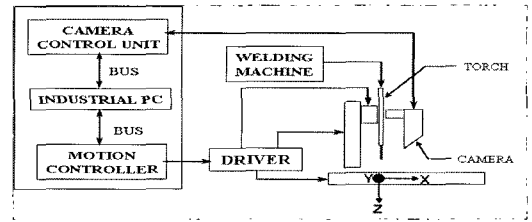


Fig. 6 System configuration for joint tracking

Table 1 System configuration

welding system part	vision system part
	vision controller
	<ul style="list-style-type: none"> industrial PC(75MHz Pentium CPU) camera controller of having DSP for vision processing and laser power scanning
<ul style="list-style-type: none"> 3 axis cartesian robot CO₂ gas arc welding : MAX. 350A inverter welding machine wire feeder water cooler motion controller wire diameter: 1.2mm 	vision laser camera
	<ul style="list-style-type: none"> resolution: 0.05mm vision camera size: 110mm x 60mm x 48mm scanning method: autosynchronized photosensitive sensor: 2D CCD laser diode: 40mW, amplitude: 680nm data processing: 40 profiles/sec

나타내었다.

3.2 실험 방법

용접시편은 두께 16mm, 가로 70mm, 세로 200mm의 연강 2장을 가접 후, 맞대기 용접을 수행하였으며, 용접시의 변형 및 비전 시스템의 추적을 원활히 하기 위해 맞대기 용접에 적합한 지그를 사용하였다. 맞대기 용접을 위한 V groove의 각은 60°로 제작하였고, 시편의 형상은 시편의 두께 16mm중 13mm가 V groove를 형성하도록 밀링가공하였고, 나머지 3mm의 루트면(root face)를 가지는 시편으로 실험하였다. 심선은 Φ 1.2mm의 솔리드 와이어를, 보호 가스로는 100% CO₂ 가스, 유량 15 ℓ/min을 사용했다. CTWD는

15mm로 유지되도록 하였다. 용접조건은 용접전류 180A, 용접전압 26V, 용접 속도는 5mm/sec로 수행하였다. 레이저 카메라는 용접 토치의 전방에 설치하여 일정거리(look ahead distance, 26mm) 앞의 용접선의 위치를 검출하도록 하였다. 실험은 다음 순서에 따라 수행되었다. 먼저 데이터를 획득 후, 잡음(noise) 제거와 영역 분할과정, V홈에서 특징을 추출하고 특징점을 인식하는 과정을 거친다. 영역 분할 처리 및 V홈 특징점 추출은 반복적 평균 기법과 분할법을 응용한 개발 알고리즘 두 가지를 사용하여 추적 결과를 비교한다. 추출된 특징점을 용접 토치가 움직여야 할 좌표값으로 변환시키고 추적점을 가중 이동 평균법에 의하여 다음 추적점에 대한 보정량으로 시스템에 준다. 이상과 같은 반복 작업으로 실시간 용접선 추적을 수행하게 된다. 이에 대한 용접선 추적을 위한 전체 흐름도는 Fig. 7에 나타내었다.

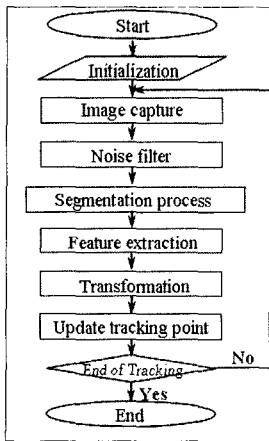


Fig. 7 Flow chart of joint tracking in tracking mode

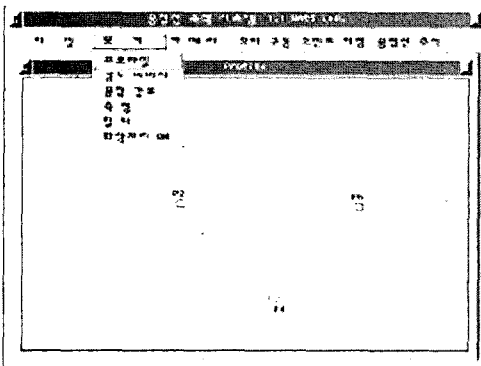
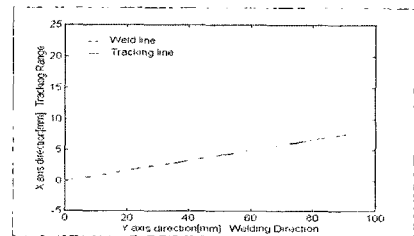


Fig. 8 Example of graphic user interface joint tracking program

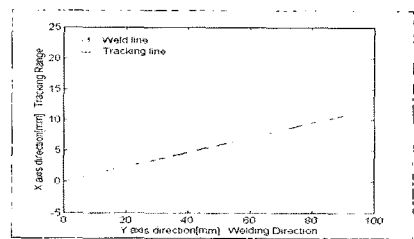
추적 성능을 평가하기 위해 3축 로봇을 이용하여 용접선의 위치를 기준선에 대하여 여러 각도를 바꾸어 몇 도의 이탈각도(deviation)까지 추적할 수 있는지 추적 실험하여 보았다. 또한, 용접선 추적을 용이하게 하기 위해 한글 GUI (graphic user interface) 프로그램을 개발하여 용접선 추적에 필요한 각 파라미터의 수정이 용이하도록 하여, 실제 용접에서 용접선 추적이 이루어지는 동안에 실시간으로 각 파라미터와 프로파일 등을 모니터링 할 수 있도록 하였다. 아래 Fig. 8은 실제 용접선 추적에 이용되는 사용자 인터페이스용 시스템의 예를 보여주는 것이다.

3.3 실험 결과

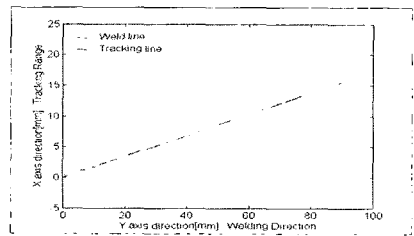
반복적 평균 기법과 분할법을 응용한 추적 알고리즘을 이용해 용접선 추적을 5°, 7°, 10°의 세 가지 경우에 대해 수행해 본 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 5°인 경우



(a) 5 degree

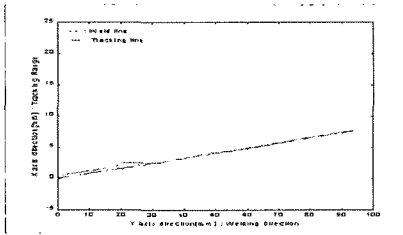


(b) 7 degree

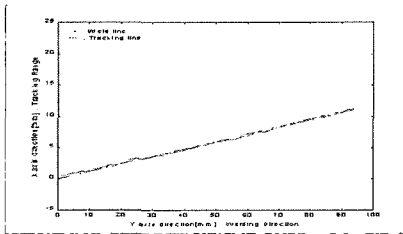


(c) 10 degree

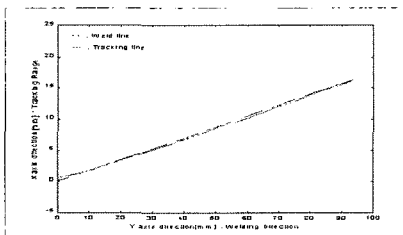
Fig. 9 Tracking results by averaging iterative technique



(a) 5 degree



(b) 7 degree



(c) 10 degree

Fig. 10 Tracking results by applied algorithm of segment splitting method

최대오차(maximum error)에서는 큰 차이가 없어 보였고, 평균 오차(mean error)와 표준 편차(standard deviation)의 경우는 적절한 공차(allowance)를 주어 좌우측 기준점을 잡은 후 중앙 기준점(root point)을 잡아가는 반복적 평균 기법이 오차가 적은것을 알 수 있었으며, 추적 각도의 이탈각도(deviation)가 커짐에 따라 분할법을 응용한 개발 알고리즘의 최대 오차, 평균 오차, 표준 편차가 모든 면에서 반복적 평균 기법에 의한 추적 결과보다 적은 추적 오차를 보여줌을 알 수 있었다. 양쪽 알고리즘 모두의 경우 추적 각도 약 10° 범위 부근에서는 최대 오차가 0.7mm보다 작은 값을 나타냄으로서 심선이 Φ 1.2mm 입을 고려한다면 추적 최대 오차는 작은 것이며 이는 우수한 추적성능을 보이고 있음을 나타내고 있다. 하지만, 각도가 커짐에 따라 개발 알고리즘은 빠른 추적 성능과 최대 오차의 변동이 심하지 않은 양상을 나타냄

Table 2 Tracking results of V groove on 5, 7, 10 degree by iterative averaging technique

error(mm) deviation	mean error	maximum error	standard deviation
5 degree	0.08	0.24	0.27
7 degree	0.16	0.44	0.29
10 degree	0.33	0.68	0.42

Table 3 Tracking results of V groove on 5, 7, 10 degree by application algorithm of segment splitting method

error deviation	mean error	maximum error	standard deviation
5 degree	0.15	0.14	0.28
7 degree	0.07	0.33	0.23
10 degree	0.14	0.35	0.23

으로써 개발 알고리즘을 이용하는 것이 실제 추적에서 추적 시간 및 추적 성능 면에서 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알았다. 반복적 평균 기법에 의한 추적 결과와 분할법을 응용한 개발 알고리즘에 의한 추적 결과를 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었고, 최대 오차, 평균 오차, 표준 편차의 결과를 아래 Table 2, Table 3에 각각 나타내었다. 평균오차는 추적선과 기준선(reference line)의 절대값의 오차를 평균한 값이며, 표준편차는 용접선 추적의 전체적인 경향을 나타낸다.

4. 결론

용접 자동화를 위한 연구로서 비전센서를 이용한 GMA 용접을 위한 실시간 용접선 추적 알고리즘 개발에 있어 기존의 반복적 평균기법과 현재 개발한 분할법을 적용한 루트점 추적 개발 알고리즘에 의한 추적 결과를 비교, 분석하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 반복적 평균 기법 및 분할법을 적용한 개발 알고리즘 모두 용접선 추적에 있어 심선의 직경(1.2mm)보다 작은 최대오차를 보여줌으로서 만족스러운 추적결과를 얻었다.
- (2) 분할법을 적용한 개발 알고리즘에 의한 추적결과는 기존의 반복적 평균 기법에 의한 추적에 비해 용접선 이탈각도(deviation)가 적은 경우는 유사하였으나, 각도가 클수록 분할법을 적용한 개발 알고리즘의 추적성능이

좋음을 확인할 수 있었다.

- (3) 아크 광이나 센서 노이즈가 많은 실제 용접에서는 기존의 반복적 평균 기법보다 분할법을 이용한 추적 알고리즘이 이탈각도가 클수록 더 좋은 추적성능을 보여주었다.

참 고 문 헌

- (1) Clocksin, W. F., 1985, "An Implementation of Model-Based Visual Feedback for Robot Arc Welding of Thin Sheet Steel," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 4, No.1, pp. 13~26.
- (2) Agapakis, J. E., 1990, "Approaches for Recognition and Interpretation of Workpiece Surface Features using Structured Lighting," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 9, No. 5, pp. 3~16.
- (3) Agapakis, J. E., 1986, "Joint Tracking and Adaptive Robotic Welding using Vision Sensing of the Weld Joint Geometry," *Welding Journal*, Vol. 65, No. 11, pp. 33~41.
- (4) Huber, C. and Boderie, E., 1988, "A Vision System for the Automatic Welding of Thin Stainless Steel Plates," *Proc. Int. Conf. Robot Vision and Sensory Controls*, pp. 31~38.
- (5) Nakata, S. and Jie, H., 1989, "Construction of Visual Sensing System for In-process Control of Arc Welding Process and Application in Automatic Weld line Tracking," *Japanese Welding Journal*, Vol. 7, No. 4, pp. 467~472.
- (6) Nakata, S., 1989, "Determination on Geometrical Arrangement of Optical Equipments and Photographic Parameters for Construction of Visual Sensing System," *Japanese Welding Journal*, Vol. 7, No. 3, pp. 358~362.
- (7) Jain, R., Kasturi, R. and Schunck, B. G., 1995, *Machine Vision*, The MIT Press and McGraw-Hill, Inc.
- (8) Nayak, N. and Ray, A., 1993, *Intelligent Seam Tracking for Robotic Welding*, Springer-Verlag.
- (9) Cho, J. R., Yang, S. C. and Jung, Y. G. , 2006, "A Study on the Improvement of Performance for High Speed Cutting Tool using Magnetic Fluid Polishing Technique," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 15, No. 1, pp. 32~38.
- (10) Kim, H. G., Kim, Y. S., Yang, S. M. and Nah, S. C., 2005, "A Study on Unit Cell Design for the Performance Enhancement in PEMFC System," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 14, No. 4, pp. 104~109.

Appendix 1 The algorithm to find the right, left and center reference point by iterative averaging technique

* Algorithm for average (mean value),

$$\bar{z}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$$

Find L when $Z_L > \bar{z}_o$, $Z_{L+1} < \bar{z}_o$, $1 \leq L \leq N$ (L: Left side of Fig. 2 profile)

Find R when $Z_R > \bar{z}_o$, $Z_{R-1} < \bar{z}_o$, $1 \leq R \leq N$ (R: Right side of Fig. 2 profile)

* Algorithm for right and left reference point

Left reference point:

$$\bar{Z} = \bar{z}_0$$

Repeat

1. If ($Z_k < (\bar{Z} + tolerance)$), $k = L \dots 1$

Then L = k

$$2. \bar{Z} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L Z_i$$

Until $Z_k \geq (\bar{Z} - tolerance)$, $\forall k \in [1, L]$

Left reference point = L

Right reference point:

$$\bar{Z} = \bar{z}_0$$

Repeat

1. If ($Z_k < (\bar{Z} + tolerance)$), $k = R \dots N$

Then R = k

$$2. \bar{Z} = \frac{1}{N-R+1} \sum_{i=R}^N Z_i$$

Until $Z_k \geq (\bar{Z} - tolerance)$, $\forall k \in [R, N]$

Right reference point = R

* Algorithm for center reference point

Center reference point:

Find k when $Z_{k+1} < Z_k$, $k = L \dots R$

Center reference = k

여기서 n; 전체 프로파일 에 나타난 데이터의 개수, N; 프로파일 상의 절점의 개수,
 z_i ; 프로파일 상의 i 번째 z 좌표 값, Z_i ; 프로파일 상 절점의 i 번째 z 좌표 값

Appendix 2 The algorithm to find the right, left, and center reference point and rootpass welding point by application algorithm of segment splitting method

* Algorithm for average (mean value)

First Average(mean value)

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$$

Find m_1 when $z_{m_1} > \bar{z}$, $z_{m_1+1} < \bar{z}$, $m_1 = 1, 2, \dots, n-1$

Find m_2 when $z_{m_2} > \bar{z}$, $z_{m_2-1} < \bar{z}$, $m_2 = n, n-1, \dots, 2$

(where, m_1 and m_2 are crossing point of mean value line and V-groove)

* Algorithm for right and left reference point

Left reference point :

$$a = \frac{(z_1 - z_{m_1})}{(y_1 - y_{m_1})} \quad b = z_{m_1} - a \times y_{m_1}$$

$$d = \frac{|a \times Y_L - Z_L + b|}{\sqrt{a^2 + 1}}, \quad L = 1, 2, \dots, M_1 - 1, M_1$$

Find L , d is maximum Value

Right reference point :

$$a = \frac{(z_n - z_{m_2})}{(y_n - y_{m_2})} \quad b = z_{m_2} - a \times y_{m_2}$$

$$d = \frac{|a \times Y_R - Z_R + b|}{\sqrt{a^2 + 1}}, \quad R = M_2, M_2 + 1, \dots, N - 1, N$$

Find R , d is maximum Value

* Algorithm for center reference point

Center reference point: (To find a minimum point)

Find K when Z_K is minimum value, $L \leq K \leq R$

* Preparation for least square error method

Find Z_{K-1}, Z_{K+1} when Z_K is minimum value, $L \leq K \leq R$

Find $D(\overline{Z_L Z_{K-1}})$, $D(\overline{Z_{K+1} Z_R})$ (D: distance)

If $D(\overline{Z_L Z_{K-1}}) > D(\overline{Z_{K+1} Z_R})$ (Z_K is situated on left)

then $D(\overline{Z_L Z_{K-1}}) < D(\overline{Z_{K+1} Z_R})$ (Z_K is situated on right)

else then $D(\overline{Z_L Z_{K-1}}) = D(\overline{Z_{K+1} Z_R})$ (Z_K is situated on center)

* Algorithm for rootpass welding point: (Principle of the least square error method)

$$z_L = a_L \times y_L + b_L, \quad z_R = a_R \times y_R + b_R$$

$$y_{\sqrt{ }}, \quad z_{\sqrt{}}$$

여기서, \bar{z} ; z좌표 값의 평균값, z_i ; 거리 이미지 i 번째 z 좌표값, n ; 거리 이미지의 개수
 m_1, m_2 ; V홈과 평균선이 만나는 좌,우측값, N ; 거리 이미지상 절점의 개수
 z_i ; 거리 이미지의 i 번째 z좌표값, Z_i ; 거리 이미지상 절점의 i 번째 z좌표값,
 y_i ; 거리 이미지의 i 번째 y좌표값, Y_i ; 거리 이미지상 절점의 i 번째 y좌표값,
 M_1, M_2 ; m_1 번째 점과 m_2 번째 거리 이미지