용접선 추적 비전장치를 이용한 원형-사각 파이프의 T형 조인트 레이저용접

T-joint Laser Welding of Circular and Square Pipes Using the Vision Tracking System

손영일, 박기영, 이경돈†
고등기술연구원 로봇/생산기술센터

ABSTRACT

Because of its fast and precise welding performance, laser welding is becoming a new excellent welding method. However, the precise focusing and robust seam tracking are required to apply laser welding to the practical fields. In order to laser weld a type of T joint like a circular pipe on a square pipe, which could be met in the three dimensional structure such as an aluminum space frame, a visual sensor system was developed for automation of focusing and seam tracking. The developed sensor system consists of a digital CCD camera, a structured laser, and a vision processor. It is moved and positioned by a 2-axis motorized stage, which is attached to a 6 axis robot manipulator with a laser welding head. After stripe-type structured laser illuminates a target surface, images are captured through the digital CCD camera. From the image, seam error and defocusing error are calculated using image processing algorithms which includes efficient techniques handling continuously changed image patterns. These errors are corrected by the stage off-line during welding or teaching. Laser welding of a circular pipe on a square pipe was successful with the vision tracking system by reducing the path positioning and defocusing errors due to the robot teaching or a geometrical variation of specimens and jig holding.

Key Words : Laser welding, square-circular pipes, vision seam tracking, image processing

1. 서 론

고출력 레이저 용접은 빠른 용접속도와 저입열로 인한 좁은 비드폭으로 인하여 자동차 차체 용접 등에 널리 쓰이고 있다. 최근에는 테일러드 블랭크에서 행하는 일차원 직선 용접뿐만 아니라 자동차 차체의 겹치기 용접이나 후드, 도어의 헤밍 부위의 접합 등에도 레이저 용접이 적용되고 있으며 또한 차량 경량화를 위한 알루미늄 소재에 대해서도 레이저 용접 적용에 대한 연구가 있었다.[1-2] 그러나 레이저 용접은 작업자의 안전 확보와 정밀도를 요구하는 문제로 인하여 가능한 작업자가 원격에서 NC 장비나 6축 다관절 로봇과 함께 사용하여 레이저 용접을 해야 하므로 현장에서는 다양한 자동화의 요구가 있어 왔다. 특히 6축 다관절 로봇을 이용한 파이프 형태의 부재들을 용접하는 3차원 구조물의 레이저 용접은 아직도 자동화를 위하여 많은 노력이 요구되고 있다.[3,4]

레이저 용접의 자동화를 위하여 비전기술을 응용하는 많은 연구가 있었다. 맞대기 용접을 할 때 발생되는 간극(gap)을 측정하거나 동시에 빔의 초점거리를 유지하기 위하여 비전시스템을 개발하여 사용하고자 하였다.[5-9] 자동차 후드의 헤밍 용접과 같은 겹치기 용접을 위하여 빔의 초점거리를 유지하는 기능이 필요하나 최근 빔웨이스트가 충분한 고출력 레이저를 이용하여 공정에서 NC나 로봇 등에 의하여 초점거리를 조절하려는 경향이 있다. 그러나 좀 더 정밀한 자동화 요구와 생산성 등 작업의 효율을 높이기 위하여 용접선 추적을 위한 비전 감시 및 제어의 필요성은 더욱 높아져 왔다. 비전 장치를 이용하여 표면의 형상을 관찰하기 위하여 가시광선과 구별되도록 레이

저를 사용하는 방법이 일반적이다. 이 때 띠 형태의 레이저를 사용하여 구조화된(structured) 영상을 형성하는 방법과 레이저 빔을 스캔하여(scanned) 표면을 좀 더 정밀하게 측정하는 두 가지 방법이 있다. 또한 구조화된 띠는 단일 띠를 사용하는 경우가 일반적이나 관찰하려는 표면의 형상에 따라 중첩된 띠(multi stripe lines)를 사용하기도 한다.

알루미늄 스페이스 프레임과 같은 파이프 재료는 지금까지 아크용접이 활발히 적용 되어졌으며 이에 비하여 레이저 용접에 대한 연구는 활발하지 않았으며 레이저 용접을 자동화하기 위한 연구는 극히 드물다.[3,4]

본 연구에서는 사각형 파이프의 한 단면 위에 원형 파이프가 수직으로 맞닿아 있는 형태의 T 조인트를 6축 다관절 로봇을 이용하여 레이저 용접을 하고자 하였다. 이를 위하여 수직으로 맞닿아 있는 용접선을 자동으로 추적하여 레이저 빔을 적절한 위치에 위치시키는 비전 장치를 개발하였으며 이를 사용하여 빔의 위치와 초점거리를 계산하였다. 이 때 로봇이 용접선을 따라 360도 진행할 때 영상의 패턴이 연속적으로 다양하게 변화하며 비전장치는 이를 감지하여야 한다. 동일한 위치라도 빛의 반사에 따라 영상의 형태가 바뀔 수 있어 이와 같은 환경에서도 다양한 영상의 변화를 감지하여 원하는 값을 추출할 수 있도록 고안하였으며 이와 같은 알고리즘을 사용하여 실제로 레이저 용접을 수행하였다.

2. 용접선 추적 비전 장치

용접선 추적 비전장치가 장착된 6축 다관절 로봇의 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 6축 다관절 로봇의 끝단에 2축 정밀 스테이지를 장착하였으며 여기에 비전장치와 레이저 용접헤드가 장착되었다. 비전장치는 디지털 CCD 카메라와 하나의 띠를 갖는 레이저와 영상을 획득하고 처리하는 모듈과 영상의 패턴을 해석하여 용접선의 벗어남과 레이저 초점의 위치 오차를 보정하는 프로그램으로 구성되었다. 띠레이저의 파장은 670nm이며 정밀 스테이지의 제어기로는 UMAC을 사용하고 카메라는 IEEE 1394 gray-scale CCD 카메라를 사용하였다.

이와 같은 로봇 및 비전장치로 레이저 용접하려는 대상물을 Fig. 2에 나타내었다. 대상물은 사각형

Fig. 1 Laser welding robot with the vision tracking system.

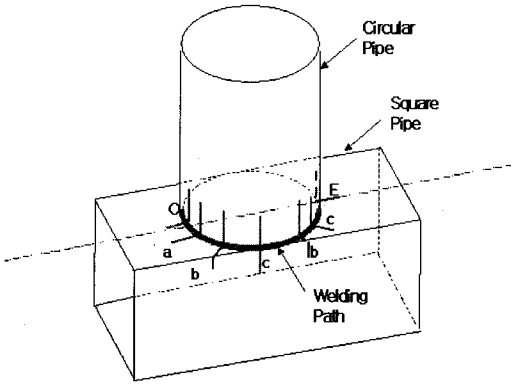

Fig. 2 T joint of circular-square pipes.

파이프의 한 면 위에 원형 파이프를 수직으로 올려놓은 것으로 T 조인트 형태이다. 사각형과 원이 맞닿은 원형이 용접선이며 용접선은 360도이나 원형파이프의 길이가 길다고 가정하여 로봇은 한 번에 반원만을 용접한다고 가정하였다. 비전에 의한 영상 취득이 위치 "0"에서 출발하여 "E"에서 종료한다. 이 때 중간지점 "a", "b", "c"를 지날 때 각각 다른 영상이 얻어지며 이를 Fig. 3-5에 나타내었다. Fig. 3의 영상은 필렛 조인트에서 얻어지는 대표적인 영상이고, Fig. 5의 영상은 맞대기 용접에서 얻을 수 있는 띠 영상과 비슷하다. Fig. 4는 필렛 영상과 맞대기 영상이 복합되어 나타난 영상이다. 이들 영상을 분석하기 위하여 널리 사용되는 가장 대표적인 방법은 히스토그램을 사용하여 분석하는 방법으로 빠르게 해를 얻을 수 있으나 외란에 민감하므로 그 적용은 제한적이다. 여기서는 알루미늄의 반사에 대한 영향을 최소화하기 위하여 히스토그램 방식을 기본으로 하여 레이저 라인의 영역을 찾고, 이진화(thresholding)와 세선화(thinning) 과정을

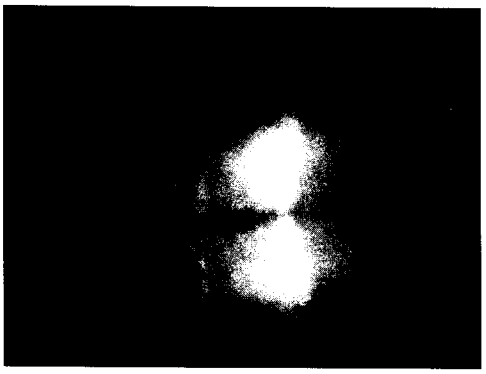

Fig. 3 Fillet joint image at location a.

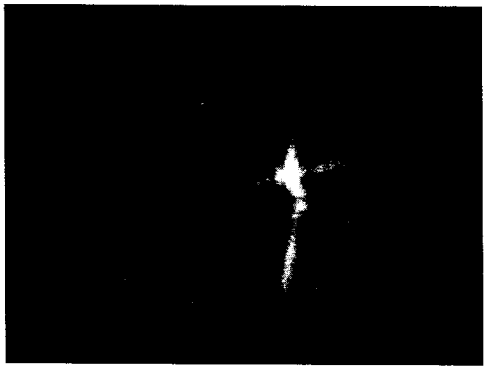

Fig. 4 Mixed image at location b.

Fig. 5 Butt joint image at location c.

통하여 잡음을 제거하였다.

취득한 영상에서 영상의 가로 세로의 최대 폭을 계산하여 분석영역을 결정한 후 이 범위 안에서 영상분석을 수행한다. 영상분석은 크게 두 단계로 나뉘며, 첫 번째로 취득한 영상이 어느 패턴의 영상인가를 판단하기 위하여 영상에 대한 길이비와 편차의 특징들을 추출하여 미리 선택한 세 가지 유형의 패턴에 따라 분류한다. 그 후에 각 패턴에 적절한 알고리즘으로 그 용접선의 중심과 초점거리를 계산한다. Fig. 6에 개발된 비전장치의 프로그램의 화면을 나타내었다. 이 프로

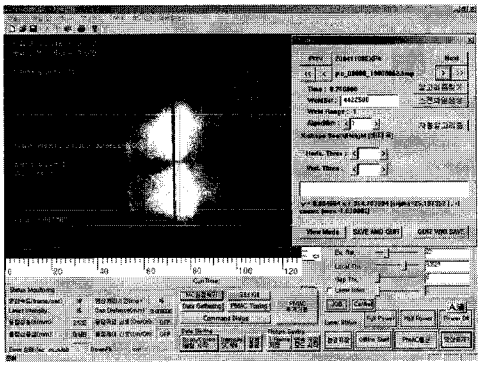

Fig. 6 Monitoring and control panel.

그램은 컴퓨터에서 동작하고 정밀스테이지와 비전장치와 로봇과 레이저 발진기와 신호를 주고받도록 연결되어 있다.

3. T 조인트 레이저 용접

알루미늄 A6063 압출재는 두 가지로 단면이 각각 두께 2mm, 지름 50mm의 원형과 두께 3mm, 한 변이 50mm인 정사각형이며 사각형 부재의 한 면 위에 원형 압출재를 수직으로 결합한 형태이다. 원활한 실험을 위하여 두 부재는 2군데를 가접하여 사각형 부재를 지그에 고정하여 사용하였다. 이 때 용접속도는 0.6m/min과 1.6m/min의 값을 사용하였으며, 초기 교시점 측정을 위하여 로봇의 동적 오차를 최소화하기 위해 용접속도가 0.6m/min이 되도록 하였다. 레이저는 초점이 표면에서 -1mm(두께 방향으로 깊게)가 되도록 하였으며 센터는 용접선에 일치하도록 하였다. 레이저 빔의 조사각은 원형 파이프의 길이방향과 60도를 이루도록 하였다.

로봇을 사용하여 원형-사각 파이프 T 조인트의 레이저 용접을 할 때 용접선 추적에서의 오차는 교시를 한 후 보통 1mm 정도의 크기를 갖는다. 이 오차는 다음의 몇 가지 원인에 의하여 비롯된다.

1) 교시에 의한 오차
2) 로봇의 궤적(path) 정밀도에 의한 오차
3) 대상물의 변화에 의한 형상 오차
4) 로봇의 동적(dynamic) 성능에 의한 오차
5) 로봇 반복정밀도(repeatability)와 떨림(random vibration)에 의한 오차

이 중 비전장치를 이용하여 교시와 궤적정밀도

및 형상변화에 의한 오차 등을 보정할 수 있을 것이라 가정하며 로봇의 동적제어나 반복정밀도 및 떨림오차는 본 논문의 연구범위 밖이다.

용접선 추적의 비전장치 성능을 파악하기 위하여 두 가지 제어실험을 실시하였다. 첫째는 10개의 교시점을 선택한 후 비전장치를 이용하여 그 오차를 측정하였다. 높이와 용접선 중심 오차에 대한 측정값을 Fig. 7에 나타내었다. 제어구간은 1초에서 4.7초까지이며 높이 오차범위는 -0.16mm에서 1.2mm까지이고 용접선 오차는 0에서 최대 0.37mm 정도이다.

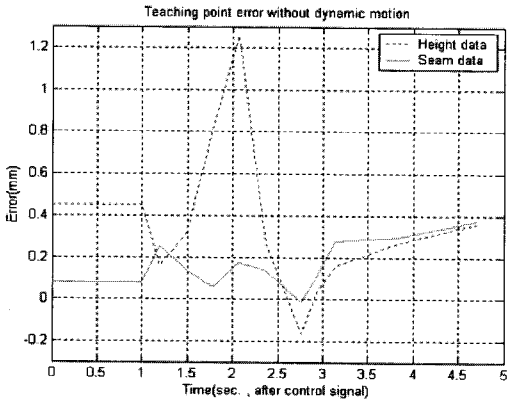

Fig. 7 Static error measurement.

둘째 실험은 비전 장치를 사용하여 실제 용접속도로 용접선을 따라가며 제어실험을 하였다. 이 때 초점의 위치는 -1mm 깊이와 용접선 중앙에 오도록 설정하였으며 제어 범위는 11.5초에서 14.5초 구간이다. Fig. 8은 실제용접에서의 대상물의 표면까지의 초점거리를 기준으로 하여 이에 대한 차이를 표시한 것이다. scanned data는 비전장치를 사용하지 않았을 때의 높이 차이를 나타내며 controlled data는 비전장치를 이용하여 제어한 경우의 높이 차이를 나타낸다. 스텝 함수로 나타난 control flag는 0일 때 대기 상태이고 1일 때 제어동작구간이다. 실제 로봇의 동작 시작보다 일초정도 일찍 비전제어가 동작하고 로봇 정지 후 정지하도록 설정되었다. 초점의 위치를 -1mm를 선택 하였으므로 그래프에서 오차 -1mm의 선을 따라가는 것이 원하는 궤적의 값이다. 로봇의 이동 초기와 끝에서 진동이 있는 것을 발견할 수 있으나 전체적으로는 1mm 정도의 높이 오차가 보정될 수 있음을 보여준다.

Fig. 9는 용접선의 중심에서 벗어난 정도를 나타낸 것이다. 교시만으로 용접을 실시하면 scanned

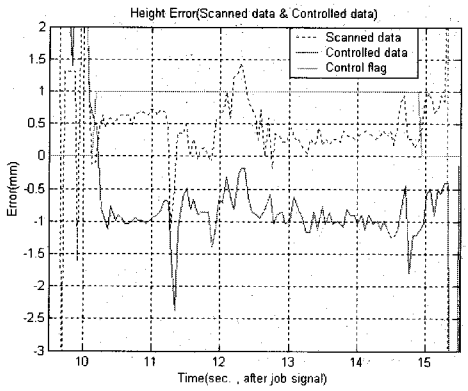

Fig. 8 Height error with or without vision system.

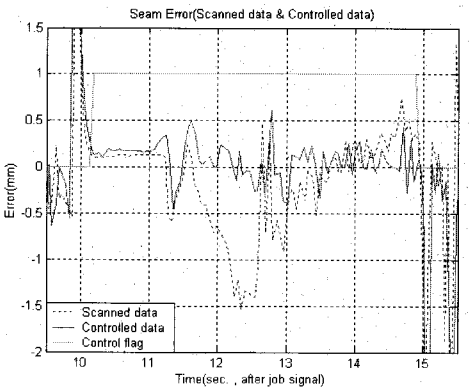

Fig. 9 Seam error with or without vision system.

data와 같은 궤적을 그린다. 초기에 상대적으로 음의 방향으로 큰 오차를 발생시키며 점차 양의 방향으로 용접선에서 벗어나는 것을 알 수 있다. 이를 비전장치를 사용하여 제어하면 평균적으로 오차 0인 선에서 유지됨을 관찰 할 수 있다. 높이와 용접선 위치 모두에서 약 12.5초에 로봇의 동적특성에 의한 큰 오차를 관찰 할 수 있으며 제어했을 경우에도 그 벗어난 정도가 각각 0.8mm와 0.5mm 정도로 레이저 용접에 충분하다고는 할 수 없고 이후로 떨림이나 동적오차에 대한 고려를 병행해야 할 것으로 보인다.

교시에 의한 레이저 용접과 제어된 용접선 추적장치를 사용하여 각각 원형-사각 T 조인트 레이저 용접을 실시하였다. 용접속도는 1.2m/min이며 filler wire의 공급속도는 2.4m/min이며 보호가스로는 He을 5l/min으로 공급하였다. 교시에 의한 레이저 용접에서는 정확한 용접선의 궤적을 관찰하기 위하여 filler를 사용하지 않고 용접을 실시하였다. Fig. 10은 비전장치를 사용하지 않았을 때 교시에 의한 레이저 용접 결과이다. 위의 Fig. 9의 용접선 추적의 중심에서 벗어난 오차에 의하여 용접선이 원형

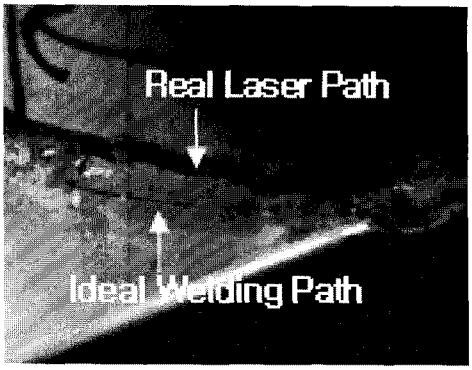

Fig. 10 Autogenous welding without vision system.

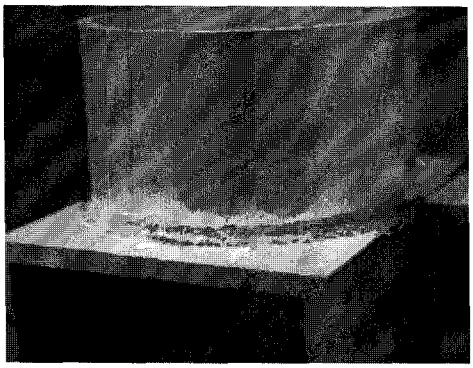

Fig. 11 Autogenous welding with vision system.

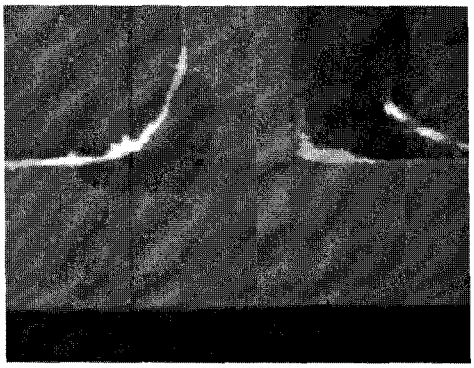

Fig. 12 Section of welded circular-rectangular pipes.

파이프 벽면에서 맞대기 선 보다 상당히 위로 형성된 것을 잘 보여준다.

Fig. 11과 Fig. 12는 비전장치를 사용한 레이저 용접 결과이다. 위의 Fig. 8과 Fig. 9의 비전시스템을 사용하여 제어된 controlled data에서 알 수 있듯이 용접선 추적이 높이와 중심에서 잘 일치되어 용접되었음을 보여준다. 또한 Fig. 12에서 보듯이 Butt 부위나 Fillet 부위의 용접 단면은 우수하다. 그러나 용접 부위의 요구성능에 따라서 용융깊이가 충분하지 않을 수 있으나 이는 용접 공정조건을 변경하여 만족시켜야 한다. 또한 동일한 용접 조건에서도 용접 속도나 자세에 따라 용융깊이의 차이가 발생할 수 있는데 이는 이동 초기에 로봇의 흔들림이나 진동으로 레이저 빔의 위치나 Seam이 흔들리기 때문이다. 이러한 결과는 제어 실험의 Fig. 8에서 초기 부분에서의 높이 오차가 중간 부분이나 종료 부분에 비하여 0.5mm 정도 크게 발생하고 있는 것으로 알 수 있으며 비전으로 이러한 흔들림을 감시할 수 있다.

4. 결 론

비전장치와 6축 다관절 로봇을 이용하여 원형-사각 T 조인트의 레이저 용접을 성공적으로 실시하였다. 본 연구에서 개발한 비전 용접선 추적장치는 원형-사각 T 조인트와 같은 하나의 용접구간에서 다수의 영상 패턴을 갖는 용접선을 추적하는데 있어 만족할 만한 성능을 구현할 수 있었다. 개발된 비전장치를 사용하여 레이저 용접을 실시한 결과 제어되지 아니한 경우에 비하여 레이저 용접의 초점의 위치를 제어하며 높이와 용접선에서 벗어난 거리의 오차를 각각 현저히 경감하여 좋은 품질의 레이저 용접을 수행할 수 있었다.

참고문헌

1) J. H. Suh, T. H. Kim, B. K. Yu, K. D. Lee, "A study of tailored blank welding between mild steel and Zn coated steel sheet by CO2 laser beam," Metals and Materials, Vol. 4, No. 2, pp. 157-163, 1998.
2) K. Y. Park, K. D. Lee, "A study on the process parameters of Nd:YAG laser-MIG hybrid welding of aluminum alloy 6061-T6," Proceedings of Korean Society of Laser Processing (Sep. 2003), pp. 30-34, 2003.
3) K. D. Lee, K. Y. Park, I. C. Ha, "Three dimensional robot laser welding of aluminum 6063-T6 pipes with filler wire," Int. Conference of Applied Laser and Electro-Optics (Oct. 2004), No. 1508, Laser Institute of America, 2004.
4) I. C. Ha, H. M. Na, Y. I. Sohn, K. D. Lee, "Development of the auto teaching system for a vehicle side panel with laser robot welding," Proceedings of Korean Society of Laser Processing

(Sep. 2003), pp. 24-29, 2003.

5) P. Sicard, M. D. Levine, "Joining Recognition and Tracking for Robotic Arc Welding," IEEE Trans. on systems, and, and cybernetics, Vol. 9, No. 4, pp. 714-728, 1989.
6) John E. Agapakis, "Approaches for Recognition and Interpretation of Workpiece Surface Features Using Structured Lighting," Int. J. of Robotics Research, Vol. 9, No. 5, Oct, 1990.
7) Y. G. Jang, K. D. Lee, "Development of 3-D vision monitoring system for tailored blank welding," J. of the Korean Society of precision Engineering, Vol. 14, No. 12, Dec. 1997.
8) H. K. Tonhsoff, L. Overmeyer, A. Ostendorf, "A new seam tracking system for welding 3-D fillet joints with ND:YAG Lasers," Laser applications in the automotive industries (30th), Automotive Automation Ltd., 1997.
9) S. K. Lee, and S. J. Na, "A Study on Automatic Seam Tracking in Pulsed Laser Edge Welding by Using Vision Sensor Without an Auxiliary Light Source," J. of Manufacturing Systems, Vol. 21, No. 4, pp. 302-315, 2002.