

# 로봇 아크용접 공정제어를 위한 새로운 알고리즘

## A New Algorithm for Control of Robotic Arc Welding Process

박요창\*, 김일수\*\*, 박창언\*\*, 김정식\*\*\*, 허업\*\*\*, 정영재\*

\*목포대학교 대학원 기계·선박해양 공학부

\*\*목포대학교 대학원 기계·선박해양 공학부

\*\*\*목포기능대학 컴퓨터응용기계과

**ABSTRACT** The application of a feedback control system in robotic arc welding is becoming more and more demanding than ever before. This requirement arises from the fact that robotic arc welding process needs no manual operator to monitor and manipulate the process parameters and hence a means of controlling the quality of the robotic arc welding process becomes apparent. Arc force sensor employed in this research to monitor the bead geometry of the arc welding process. A relationship between the bead dimension and the arc force distributions was established. Experimental configuration for measurement of arc force was used to quantify the changes in the arc force distributions of the plate being welded. Arc force sensor mounted at the end of the robot wrist was employed to measure the arc force applied to the weld. The sensor information was the used to establish a relationship between welding current and arc force. Arc force sensor have shown to be on of the most sophisticated technique to monitor perturbations that occurred during arc welding process.

### 1. 서론

최근 산업의 급속한 발전으로 공장자동화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 공장자동화 시스템을 구축하기 위해 생산 현장에 산업용 로봇이 등장하게 되었다. 산업용 로봇은 단순한 자동기계에서 생각할 수 없었던 작업의 융통성(flexibility)을 가질 수 있고, 다양한 작업과 공정변화에 효과적으로 대응할 수 있게 되었다. 반면에 수시로 발생하는 고장이나 돌발적인 상황이 발생하는 경우 판단 대처할 수 있는 능력이 인간보다는 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위해서 로봇에 많은 센서를 부착하여 센서에서 나온 출력을 이용해서 로봇에 판단기능을 부여하려는 연구가 진행중이다.<sup>1)</sup>

1980년대 중반이후 시각적인 정보에 의한 매니플레이이션(manipulation)제어에 대한 연구가 집중되었으나<sup>2~3)</sup>, 부품조립 등의 공정에서 비전 시스템을 이용한다는 것은 실제로 여러 가지 제약조건 때문에 실제 현장에서는 적용이 쉽지 않으며 대부분이 검사부분에 이용되고 있는 실정이다. 그러나 시각정보의 중요성, 유연성, 화상처리기술 및 컴퓨터 발달로 인해 로봇에 비전 시스템의 적용은 꾸준히 연구되고 있다.<sup>4~7)</sup> 하지만, 이러한 연구는 어느 정도 제한된 범위 내에서만 산업용 로봇이 불확실한 물리적인 공간의 위치 및 방위를 예측하여 원하는 작업을 수행 가능하게 하였다.

한편 Heiple<sup>8)</sup>는 1983년에 아크포스센서를 이용하여 유황(Sulphur), 셀레늄(Selenium), 산소와 같은 불순물이 용융지의 FZ(Fusion Zone) 형상변화를 연구하였다. 또한, 그는 불순물이 표면장력을 변화시켜 FZ 및 용입깊이를 변화시킨다고 주장하였다. Savage et. al<sup>9)</sup>은 일련의 GTA용접 실험을 통하여 아크포스와 아크전류 및 모재 간격은 직접적인 함수관계이며, 용접속도, 용접전압, 와이어직경과 혼합가스는 간접적인 상관관계라 주장하고, 아크포스 측정에 관한 방정식을 제안하였으며 현재 국내에서는 아크포스센서를 용접자동화에 적용한 사례가 전무한 실정이다.

용접공정 자동화에 필수적인 센서는 아크빛, 고열, 스패터(spatter) 및 용접매연(fume)의 발생 등의 열악한 작업환경 때문에 로봇 적용에 많은 한계가 있다. 일반적으로 용접품질 제어는 용접 헤드가 정확한 seam track을 따르고, 접합부분을 용해시키는 용가재의 양을 최적화 할 수 있고, 외란(disturbance)의 발생시 적절한 조치를 취할 수 있는 시스템 형태로 실시간에 수행되어야한다. 이러

한 요구를 달성하기 위하여 다양한 센서 및 제어이론을 이용하여 많은 시스템이 개발되었지만 실제 산업현장에 적용된 사례는 드물다.

본 연구에서는 로봇 GMA용접공정에서의 실시간 제어에 필요한 제어알고리즘 개발을 위하여, 아크포스 센서를 이용하여 아크전류를 50A에서 300A로 증가시키면서 아크포스를 측정하였다. 측정된 아크포스 값을 이용하여 비드크기와 아크포스의 상관관계를 연구하고, 이론적인 해석으로부터 계산값과 실험값을 비교·분석하였다. 마지막으로 비드크기 제어 및 용접선 추적을 실시간 모니터링하기 위해 아크포스 센서와 연결시킨 용접선 추적시스템 개발에 필요한 알고리즘을 개발하였다.

## 2. 실험준비

실험에 사용된 재료는 고장력강 판재로서 두께 12mm인 BV-AH32 (KR-RA32, ABS-AH32)강으로 현재 선박구조물에 주로 사용되고 있다. 기계적 성질을 얻기 위하여 시험편을 압연방향으로 채취한 후 KS B 0801 13A로 인장 시험편을 제작하였다. 시험편은 판재를 가스절단한 후 개선각은 밀링머신으로 가공하였다. 150×200×12mm인 판으로 제작된 시험편은 #200~1500으로 연마한 후 산화알루미늄( $Al_2O_3$ ) 분말을 사용하여 버핑한 후 bead-on-plate 용접을 수행하도록 제작하였다. 용접봉은 고려용접봉(주) 고장력강용인 Solid-SM-70-6 type의 직경 1.2mm를 사용하였다. 실험조건은 아크전류를 50A에서 300A까지 증가시키면서 총 10회 실행하였다.

실험장치는 산업용 로봇(대우중공업 ABB1400), GMA 용접기, 아크 포스 센서로 이루어진 센서부, 센서로부터 받은 데이터를 처리하는 컴퓨터부로 구성되어 있다. 대우중공업의 6축 로봇(ABB1400)의 로봇 매니플레이터를 이용하여 용접토치의 위치를 결정하였고, 아크포스를 측정하기 위한 센서를 설치하였으며, 로봇 컨트롤러는 용접토치의 패스를 결정하는데 사용하였다. 아크포스를 측정하는 센서는 LORD SYSTEM 15/50을 사용하였으며, 민감도(sensitivity)는 0.056N이다. 또한 센서는 샘플링율(sampling rate)을 100Hz로 설정하였고, 자체에서 아날로그를 디지털로 변환하는 장치를 내장하고 있다.

용접방법은 GMA 용접을 하고 보호가스를 Ar 80%과 CO<sub>2</sub> 20%를 사용하였으며, 가스속도는 25mm/min로 하였고, 팁 높이는 15mm, 토치 각도는 90° 로 하였다. 용접변형을 최소화하고, 현장에서 사용하는 조건을 근접시키기 위하여 지그로 구속한 상태에서 용접을 실시하였다. 아크포스(arc force)를 측정하기 위한 실험은 bead-on-plate 용접방법을 이용하여 수행하였으며, 이 실험을 위해 선택한 공정변수들은 용접전압, 아크전류, 용접속도 등이며, 측정값은 아크포스, 비드폭(bead width)이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

본 논문에서는 아크포스 측정은 F/T(Force/Torque)방법으로 이루어졌으며, 기준측정은 외란의 영향을 완전히 제거하기 위하여, 로봇 매니플레이터 이동, 혼합가스에 변화가 없다는 조건하에서 수행하였다.

Figs. 1~2는 아크전류를 120A 과 200A에서 측정된 아크포스 값과 전류가 0A에서 측정한 기준값의 오차들을 그래프로 나타낸 것이다. 또한, 선형회귀 방법을 이용하여 플롯점들의 최적 기준선을 표시하였다. 측정된 아크포스 값들과 전류가 0A에서 측정한 결과사이의 오차(error)가 단계적으로 상승함을 알 수 있어 용접공정의 자동화에 필요한 센서로 이용될 수 있으며, 향후에 용접속도 및 용접전압에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 여기서 sample No. 1은 용접시작점을, sample No. 50은 용접완료점을 나타내며 그 사이의 점들은 동일한 간격으로 측정 및 계산된 값들의 오차를 나타낸다.

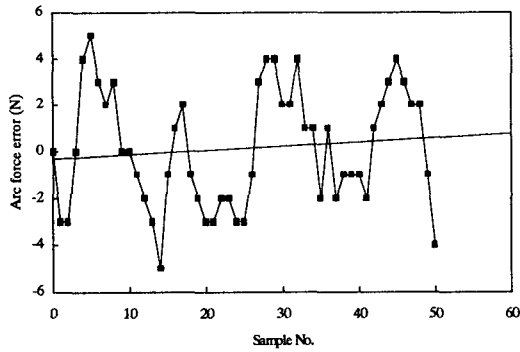


Fig. 1 Arc force versus sample number for 120A

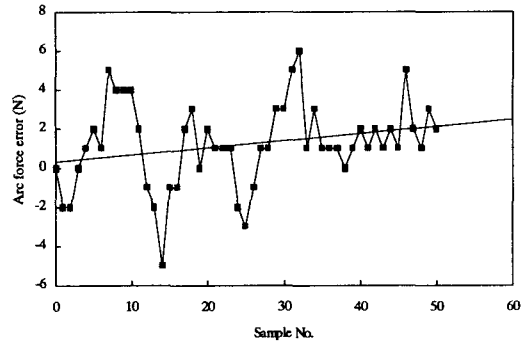


Fig. 2 Arc force versus sample number for 200A

또한 실험결과를 비교·분석하기 위하여 측정된 실험값에서 기준(offset) 값과의 오차를 계산한 후 전체 아크포스 값을 구하고, 그 값에 측정 위치수와 보정계수 곱으로 나누어서 평균 아크포스 값을 계산하였다. 계산한 실험값과 Savage et. al<sup>9)</sup>에 의해 개발된 이론방정식을 이용하여 계산한 계산값, 용접 후 시편을 절단하여 측정된 비드폭의 결과를 Figs. 3~4에 나타내었다. 여기서, 아크포스 센서에 대한 GMA 용접 토치 위치를 보상하기 위하여 보정계수 437를 이용하여 평균 아크포스를 측정하였다. Fig. 3에 따르면, 아크전류 50A에서 측정된 아크포스 값이 이론적으로 계산한 값보다 현저히 작음을 알 수 있다. 이 결과는 아크포스 측정은 실험구성(experimental configuration)에 크게 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다. Fig. 3은 아크전류가 0A에서 300A로 증가시 실험으로 측정된 값과 이론적으로 계산된 아크포스를 산란그래프(scatter graph)로 나타냈으며, 선형회귀 방법을 이용하여 플롯점들의 최적의 선을 표시하였다. 실험을 통하여 측정된 아크포스 값은 전류의 제곱에 비례함을 알 수 있었으며, 이론적으로 계산된 값과 유사함을 알 수 있었다.

또한, 측정 및 계산된 아크포스 값들과 비드크기의 상관관계를 Fig. 4에 나타냈으며, 로봇 아크 용접 공정중에 얻어지는 상호관계를 통해서 용착비드 형상과 크기를 적응제어 할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

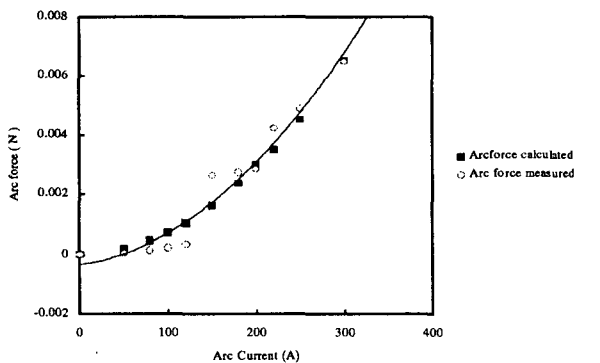


Fig. 3 Arc force versus arc current

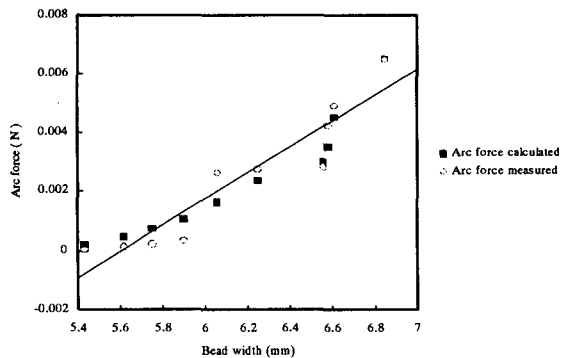


Fig. 4 Arc force versus bead width

#### 4. 결론

본 연구에서는 GMA 용접 공정자동화를 위해 여러 종류의 센서들 중 로봇에 장착이 용이한 아크 센서를 이용하여, 아크용접시 실시간 측정이 불가능한 용융부의 크기를 아크포스 센서를 이용하여 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. GMA 용접 비드형상을 실제 이론적으로 계산된 아크포스 값과 실험을 통하여 측정된 값을 비교·분석하여 신뢰성을 확인하였다.

2. 아크포스는 전류의 제공에 비례하며, 비드폭과 아크포스 사이에는 선형 관계가 존재한다.
3. 아크센서의 신뢰도가 개선되면 로봇을 이용한 아크용접 공정제어에 광범위하게 적용될 것이며 비드크기의 실시간 추정이 이루어지므로 실시간 용접품질 관리시스템을 구현할 수 있고, 그에 따른 생산성 및 제품의 신뢰도 향상에 기여할 수 있을 것이다.
4. 아크 센서의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 각 용접공정의 보다 정확한 실험구성 및 적절한 알고리즘의 개발이 요구된다. 또한, 로봇 아크용접 공정중 적응제어를 위한 잠재적인 기술이 입증되었지만, 그 기술의 가치를 평가하기 위하여 더 많은 연구 및 기술개발이 필요하다.

## 5. 참고문헌

1. Miller W., Thomas III, "Sensor-Based Control of Robotics Manipulators Using a General Learning Algorithm", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 3, No. 2, pp. 157~165, Apr., 1997.
2. Nitza, David, "Three Dimensional Vision Structure for Robot Applications", IEEE transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 10, No. 3, pp. 291~309, May, 1988.
3. Skaar Steven B., Brockman William H., and Hanson R., "Camera-Space Manipulation", The International Journal of Robotics Research, Vol. 6, NO. 4, pp. 20~32, 1987.
4. Smith, Philip W., Nandhkumar N., Ramadorai, A. K., "Vision Based Manipulation of Non Rigid Objects", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3191~3196, April, 1996.
5. Sandon, Peter A., "Control of eye and arm movements using active, attentional vision", Application of AI, Machine Vision and Robotics, pp. 1471~1491, 1993.
6. Yoshihiro T., Yasuo K., Hiroyuki I., "Positioning-Control of Robot Manipulator Using Vision Sensor", International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, pp. 894~898, December, 1996.
7. Weiss L. E., Sanderson, Arthur C., Neuman, Charles P., "Dynamic Sensor-Based Control of Robotics with Visual Feedback", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. ra-3, No. 5, pp. 404~417, October, 1987.
8. Heiple C. R., Roper J. R., Stagner R. T., Aden R. J., "Surface Active Elements on the Shape of GTA Laser and Electron Beam Welds", Welding Journal, Mar., 1983, pp. 72~76.
9. Savage W. F., "Effect of Arc Force on Defect Formation in GTA Welding", Welding Journal, July, 1974, pp. 212.