

볼밸브용 볼의 OLP 기반 로봇육성용접 시스템 구현에 관한 연구

장재성, 황성현, 노태정*
동명대학교 메카트로닉스공학과

A Study on Implementation of Robot Overlay Welding System Based on OLP for Ball of Ball Valves

Jae-Sung Jang, Seong-Hyun Hwang, Tae-Jung Lho*
Dept. of Mechatronics Eng, Tongmyong University

요 약 최근 해양, 석유화학 플랜트 등에서는 내마모, 내식성, 내열성이 요구되는 초내열 합금이 기본적인 구조재료로 많이 사용되고 있다. 하지만 고가의 초내열 합금 소재로 밸브를 제작할 때 원가 상승과 가격 경쟁력 저하의 원인이 되고 있다. 이에 유체에 흐르는 특정부위만 육성 용접하는 기술이 효과적인 방법으로 사용되고 있다. 하지만 기존의 볼 육성용접의 경우 사람이 직접 수동으로 작업을 진행하기 때문에 많은 시간이 소요되고 정확한 용접하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 볼 밸브용 볼 육성용접을 균일하게 할 수 있는 로봇자동화 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 용접토치를 장착한 용접용 로봇 6축, 포지셔너 회전을 위한 부가 2축, 제어장치 및 로봇경로는 오프라인 프로그램으로 구성되어 있다. CAD 도면 데이터를 오프라인 프로그램에 입력하여 로봇 교시점과 로봇 구동 소스를 얻을 수 있도록 하였고, 볼 육성용접 궤적은 Matlab을 통해 구현하였다. OLP 시스템을 통해 용접층 두께가 균일하게 얻으므로 용가재의 소모량을 약 20% 절감할 수 있었고, 모재와 용접봉 사이의 아크길이를 일정하게 유지하여 육성용접 불량율을 약 50% 정도 감소시켜 품질을 확보하였다. OLP를 활용한 육성용접 자동화 시스템을 통해 작업소요시간이 88시간에서 41시간으로 단축되어 생산성이 2.58배 향상 되었다.

Abstract Recently, heat resistant super alloys (which are wear-resistant, corrosion-resistant, and heat-resistant), have been used as the basic structural material in offshore and petrochemical plants. On the other hand, making valves from very expensive, high heat-resistant alloys increases the production cost and decreases its market competitiveness. To solve these problems, the technique of overlaying only those that flow on the fluid has been used as an effective method. Nevertheless, because the former technique of overlaying the ball is performed manually, it takes too much time and perfect welding is difficult to perform. To solve this problem, this study developed a robot automation system that can make uniformly overlay welding of the ball for ball-valves. The system consists of a 6-axis welding robot with a welding torch and additional 2 axes for the rotation of positioner, the controller, and a robot path OLP (Off-Line Programming). The CAD drawing data was entered in the Off-line program to obtain the robot teaching point and drive source. Overlay welding paths were implemented using Matlab. Through an automated overlaying system that implemented the OLP, the productivity rose 2.58 times, as the amount of time required for work decreased from 88 hours to 41 hours.

Keywords : Ball valves, Ball, Off-line Programming, Overlay Welding, Welding robot, positioner, weaving

1. 서론

일반적으로 해양/석유화학 플랜트, 발전설비 등의 장

치 산업에서 부식과 마모는 금속 재료의 표면에서 발생 하는 화학적, 기계적인 손상의 일종이며, 기계부품의 수 명과 작동 상태 등을 결정하는 중요한 요소 중의 하나이

*Corresponding Author : Tae-Jung Lho(Tongmyong Univ.)

Tel: +82-51-629-1533 email: tjlho@tu.ac.kr

Received August 31, 2016

Revised November 3, 2016

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

다. 그 중에서도 부식은 주위 환경에 따라 금속의 표면에 화학적 결합이 발생하는 것으로서, 특히 부식성 유체를 수송하거나 염분의 농도가 높은 해양에서는 큰 문제가 되고 있다. 또한 마모는 하중의 형태와 방법, 속도, 온도, 재질, 윤활제 및 사용 환경 등에 따라 다양한 형태로 나타나며, 마모를 방지하기 위하여 재료의 표면을 경화시키는 방법이나 내마모성이 우수한 재료를 사용한다. 이에 해양/석유화학 플랜트, 발전설비 등의 장치 산업 분야에서는 내마모, 내식성, 내열성이 요구되는 초내열 합금(Ni-base alloy)이 기본적인 구조재료로 많이 사용되고 있다. 하지만 고가의 초내열 합금소재로 밸브를 제작할 때 원가 상승과 가격 경쟁력 저하의 원인이 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 재료학적으로 우수한 결합력을 가지며, 내마모성, 내식성 또는 내열성을 갖는 용접재료를 볼의 유체가 흐르는 특정 부위만을 육성용접하여 원가의 30~50% 절감할 수 있다.

현재 다양한 표면처리 방법들이 사용되고 있으며, 그 중 밸브에 육성용접 기술이 일부 효과적인 방법으로 사용되고 있으나, 특수합금 재료의 사용으로 인한 고비용 구조이다. 따라서 육성용접 공정을 자동화하여 소재비용을 최소화하고, 품질 안정화, 생산성 향상 및 기타 비용 감소 효과를 증진하기 위하여 개발이 시급하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 볼밸브의 외주면에 내마모, 내식성이 우수한 특수합금 용접 층을 정밀하게 형성시켜 볼밸브의 사용 수명을 현저하게 연장시키고 있다.

현재 일부 업체에서 적용되고 있는 수작업 형식의 육성용접은 생산성이 낮고 용접 작업자의 숙련도에 따라 제품의 품질에 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 생산성 및 품질 향상을 위한 육성용접 자동화공정 개발이 절실히 필요한 실정이다.

Seon-Jin Kim 등은 패키지형 발전시스템용 라디에이터의 OLP 기반 코팅로봇 자동화시스템 개발하였고[1], Soo Jun Lee 등은 OLP 기반 산업용 로봇 시뮬레이션을 위한 자동화 프로그램 모듈 개발을 연구 하였다[2]. Sung Kwon Oh 등은 설계모델정보를 이용한 용접로봇 OLP 시스템 구축 사례를 연구하여 3D나 2D 도면을 이용하여 OLP용 용접로봇 설계방안을 제시 하였고[3], Jin Hwan Borm은 아크 용접용 로봇의 오프라인 프로그래밍 응용을 위한 효과적 캘리브레이션 방법 연구를 통해 오프라인 프로그램의 오차 발생과 정밀도 향상을 위해 연구 하였다[4].

본 연구는 볼 밸브 육성 용접 로봇에 OLP 시스템을 적용하여 보다 균일한 용접 두께를 얻어 품질향상과 불량품감소, 작업소요 시간 단축을 통해 엄청난 경제적 효과를 가져 올 것이다.

2. 육성용접 자동화 시스템 구성

Fig. 1과 같이 볼밸브용 볼 육성용접 자동화 시스템을 구성하였다.



Fig. 1. Configuration of Overlay Welding Automation System for Ball-valve

Fig. 2와 같이 용접용 로봇 구성은 기본 6축, 부가 2축 포지셔너 모션제어를 추가하여 볼밸브 용접을 진행한다. 용접용 로봇의 엔드 이펙터(end-effector)에 용접토치를 장착하여 로봇에 내장되어 있는 위빙(waving) 기능을 통해 위빙이 가능하도록 설계되어 있다. 또한 AVC(automatic volume control)를 이용한 용접팁-모재간 간격제어도 가능하다.

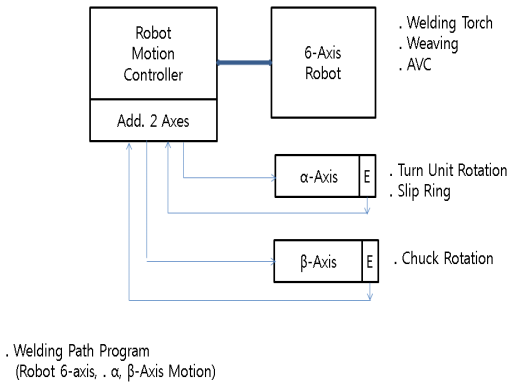


Fig. 2. Configuration of Welding Robot and Positioner

3. 육성용접 자동화 공정 및 궤적

볼 육성용접 자동화 공정은 볼 전체를 육성용접하기 위해서 Fig. 3과 같이 총 4가지의 공정으로 나누어 볼 밸브 육성용접을 실시한다. 열 변형을 고려하여 작업 순서는 볼 외경 육성용접(① 부위), 볼 내경 육성용접(② 부위), 볼 평면부(상), 보스(상) 내/외부 육성 용접(③ 부위), 볼 평면부(하), 보스(하) 육성용접(④ 부위)를 순서대로 육성용접을 실시한다.

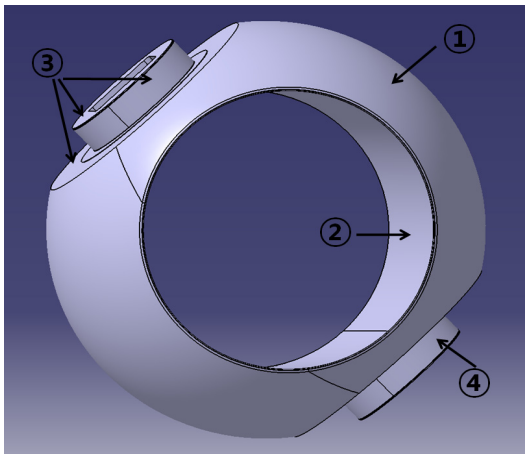


Fig. 3. Configuration of overlay welding

먼저 작업 순서의 첫번째에 해당되는 볼 육성 외경 용접 방법은 포지셔너의 초기위치로서 장착한 볼을 포함한 터닝유닛 전체의 경사각도 α 를 -55° , 척 회전각도 β 를 각각 설정한다. 이때 용접로봇의 용접토치는 최상부 위

치에서 용접성이 가장 좋은 아래보기 자세를 항상 유지한다. β 회전축인 척이 1회전하는 동안 볼을 장착한 터닝 유닛 전체가 경사각 $\Delta\alpha$ 만큼씩 증가시켜 비드폭 W_b 만큼 육성용접이 진행된다. 따라서 터닝유닛 전체가 -55° 에서 55° 까지 계속 진행하여 볼 외경을 따라 나선형으로 회전하면서 용접한다. 이 때 실제적으로 균일한 용접속도(V_w)를 유지하기 위하여 척(β 회전축)의 회전속도(ω)는 육성용접하는 볼의 현재 위치(경사각 α)에서 β 회전축의 수직 반경에 반비례하므로 다음과 같은 공식이 형성된다.

$$\omega = \frac{V_w}{R \cos(\alpha)} \quad (1)$$

다음은 볼 밸브 외형 궤적 모델링을 X, Y, Z축에 대한 좌표 값을 구현하였다. -55° 에서 55° 까지 α 축을 변화에 따라 β 축 1회전하는 동안 X, Y, Z축이 식(2)의 궤적을 따라서 이동하면서 형성된다.

$$\begin{aligned} X &= R \cos(-\varnothing_s + \alpha) \sin(\theta) \\ Y &= R \sin(-\varnothing_s + \alpha) \sin(\theta) \\ Z &= R \cos(\theta) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 R , \varnothing_s , α , θ 는 각각 지름, 초기 α 축 위치, α 축 회전각, β 축 회전각을 나타낸다.

Fig. 4는 반지름 775mm, 비드폭을 70mm로 가정하였을 때 α 축에 대한 β 축의 회전방향 궤적으로 식(2)을 Matlab으로 시뮬레이션 결과이다.

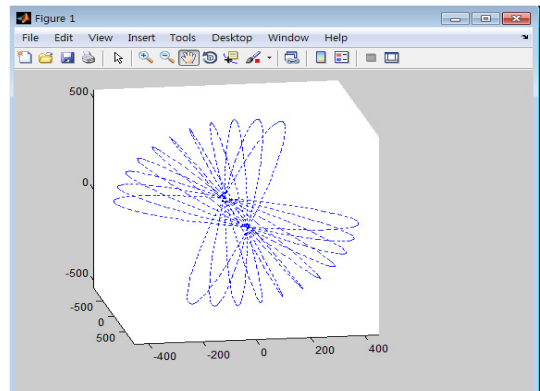


Fig. 4. Path simulation on external ball surface by Matlab

볼 내경 육성용접하는 방법은 볼을 장착한 터닝 유닛 전체가 α 회전축을 중심으로 1회전하는 동안 용접로봇은 용접토치를 볼 내경의 길이방향(Y-Axis)으로 비드폭 만큼 위빙하면서 육성용접이 진행되도록 한다. 따라서 볼 내면을 따라 나선형으로 회전하면서 계속 반복하여 육성용접 한다.

마지막으로 볼 윗면과 아래 용접하는 방법은 육성용접한 볼 평면부 상부를 다시 척으로 장착하고, 볼을 장착하고 있는 턴 유닛 전체를 수직으로 세워서 볼 평면부(하)가 위로 위치하도록 하고, 상부의 척을 풀어서 로봇이 용접할 수 있도록 공간을 만든다. 로봇은 볼 평면부(상부)를 장착하고 있는 하부 척을 회전하면서 동시에 반경방향으로 용접토치를 비드폭 만큼 육성용접을 진행하면서 나선형으로 볼 평면부(하부)를 위빙하여 육성용접하고, 또한 하부 척을 고정시켜두고 로봇을 통하여 보스(하)를 위빙으로 육성용접한다.

4. 육성용접용 OLP 개발

티칭(teaching) 방식으로 로봇경로를 프로그래밍 할 경우 숙련된 전문 작업자가 필요하며, 많은 시간이 소요된다. 이러한 것을 해결하기 위해 볼밸브 육성용접용 로봇을 위한 OLP(Off Line Program)을 개발하였다. 볼 육성용접 자동화 시스템의 OLP는 크게 볼 외경 육성용접(① 부위), 볼 내경 육성용접(② 부위), 볼 평면부(상), 보스(상) 내/외부 육성용접(③ 부위), 볼 평면부(하), 보스(하) 육성용접(④ 부위)로 4부분으로 구성된다. Fig. 5는 OLP 프로그램 첫번째 화면으로 원하는 공정을 클릭



Fig. 5. Main operation menu of OLP developed

하면 설정 창을 불러온다.

OLP 프로그램을 이용하여 볼 육성 외경 용접 프로그램 작성하는 방법은 다음과 같다. 먼저 'Start Position'은 로봇의 시작위치를 잡은 후 티칭 펜던트의 X, Y, Z, O, A, T, α , β 의 베이스 좌표 값을 가져와 프로그래밍에 입력한다. 다음은 Fig. 6에 나타나 있는 CAD Data를 활용하여 '사이각', '반지름', '비드폭'을 입력한다. 다음은 구간 설정을 위해 'step'입력에서 몇 구간을 나누어 속도 제어를 할지 선택한다. 입력을 마치면 α 축과 β 축 입력창이 생성이 된다. 여기에서 직접 속도를 제어하고자 하는 경우에는 직접 기입하여 '수동입력' 버튼을 클릭한다. 그렇지 않을 경우 '자동입력'을 클릭시 자동으로 속도설정이 된다. 다음은 'Program'을 입력하면 'Program Source'에 프로그램이 생성된다. 그 후 '저장' 버튼을 눌러 저장시킨 뒤, USB 메모리에 저장하여 로봇 프로그램에 입력한다.

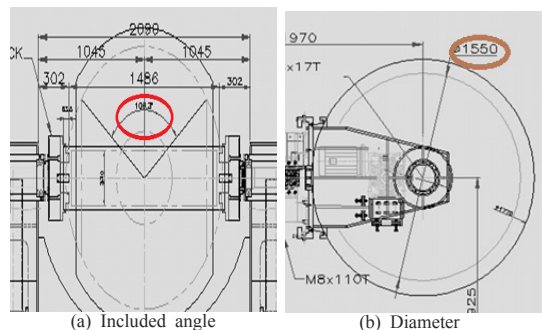


Fig. 6. CAD data for an external diameter of ball

Fig. 7은 도면에 나온 반지름 값, 사이각, 위드폭, X, Y, Z, O, A, T 좌표값을 입력한 초기 화면이다.

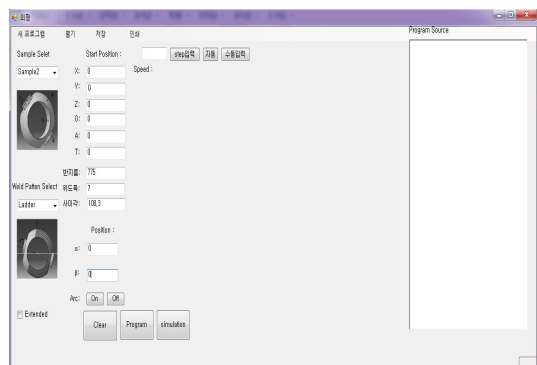


Fig. 7. Start screen of OLP developed

Fig. 8은 자동 입력을 클릭 시 생성되는 화면이다.

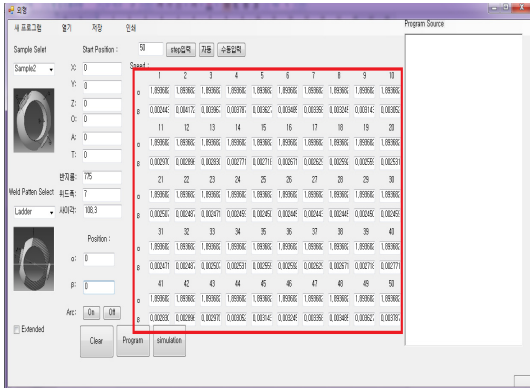


Fig. 8. Step screen of OLP developed

CAD도면을 통해 치수 기입을 한 후 step 입력에 50을 입력할 경우에 생성되는 화면이다. step 입력은 자신이 원하는 속도구간을 50개로 나눈다. 직접 속도 입력을 할 경우 직접 원하는 속도를 입력 한 뒤 수동 입력을 클릭한다. 원하지 않을 경우 자동 버튼을 눌린다. Fig. 9는 모든 입력 값을 입력한 후 'Program' 클릭 후 'Program Source'에 프로그램이 생성된 화면으로 'Program' 버튼은 입력한 데이터를 통해 'Program Source'에 출력해주는 버튼이다.

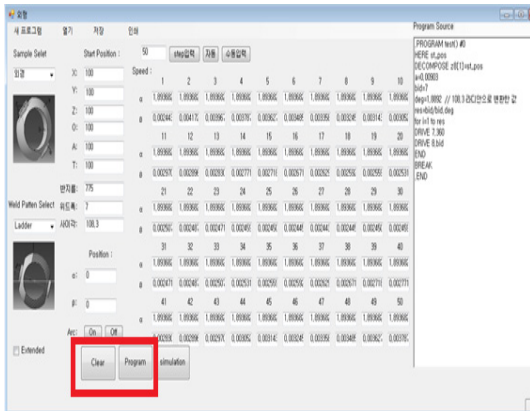


Fig. 9. Clear screen of OLP developed

Fig. 10은 simulation 버튼 클릭시 생성되는 화면으로 간단한 동작을 확인 수 있다.

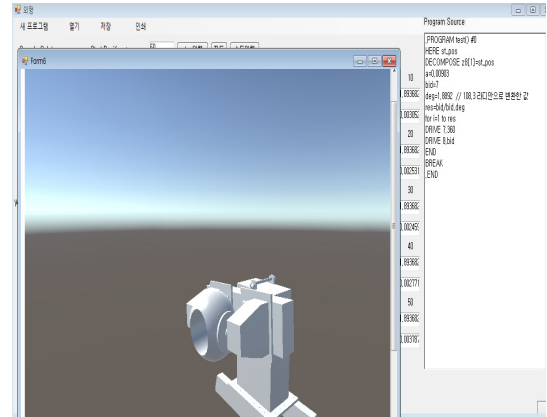


Fig. 10. Simulation screen of OLP developed

5. 시운전 및 시뮬레이션

OLP 프로그램을 통해 형성된 궤적을 검증하기 위해 시뮬레이션과 시운전을 수행했다. Fig. 11은 반지름 775mm, 비드폭을 70mm으로 가정하였을 때 개발한 OLP 프로그램을 통해 형성된 궤적에 대한 Matlab 시뮬레이션 결과로서, 그 OLP 프로그램의 신뢰성을 검증 확인하였다.

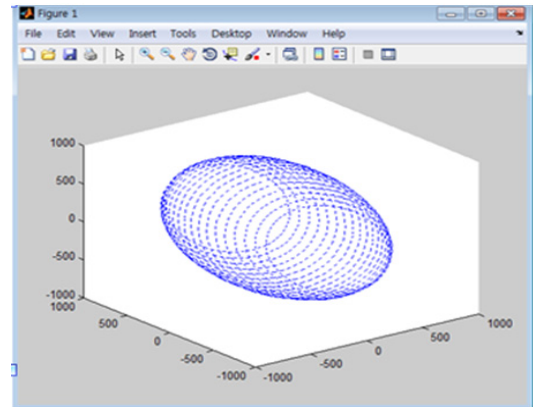


Fig. 11. Simulation of external ball by Matlab

Fig. 12는 내경 OLP 프로그램을 통해 작성된 소스 데이터를 통해 Matlab 시뮬레이션 한 그림이다. 내경 반지름을 450mm, 비드폭 70mm으로 가정하여 시뮬레이션을 시행하였다.

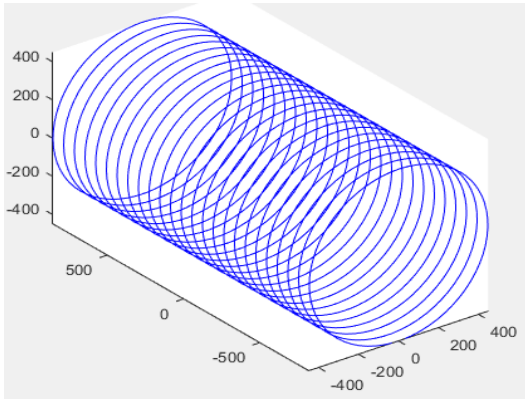


Fig. 12. Simulation of inner ball part by Matlab

Fig. 13은 윗면과 아랫면 OLP 프로그램을 통해 작성된 소스 데이터를 통해 Matlab 시뮬레이션 한 그림이다. 윗면 큰 반지름을 1,256mm로 가정하고, 작은 원 $r=486\text{mm}$, 보스 부분 큰 반지름을 486mm, 작은 반지름을 416mm로 가정하여 시뮬레이션을 시행하였다.

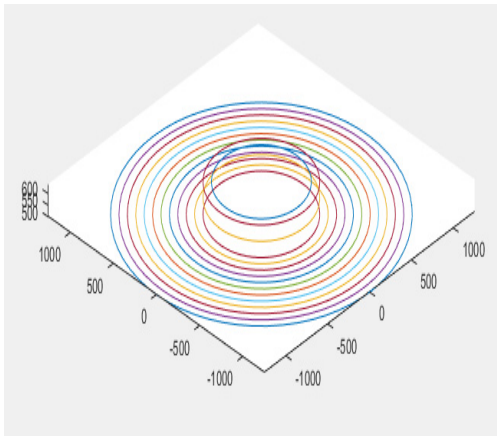


Fig. 13. Simulation of top and bottom parts by Matlab

Fig. 14와 같이 하는 설치된 로봇에 소스를 입력하여 로봇을 구동하였다. 기존의 육성 용접 작업소요 시간은 작업준비 시간 2시간, 볼 외경의 경우 34시간, 내경 18시간, 상하 34시간이 총 88시간이 소요된 반면에 자동화 시스템을 적용 시킨 후 작업준비시간 1시간, 외경 24시간, 내경 10시간, 상하 6시간으로 41시간이 소요되었다. 이로써 기존의 육성용접보다 보다 균일한 용접두께를 얻었고, 작업생산성이 2.58배 향상되었다.



Fig. 14. Operation view of overlay welding by robot

Fig. 15는 모든 육성용접 공정이 끝난 볼 밸브이다.



Fig. 15. Ball shape after overlay welding

Fig. 16은 육성용접을 마친 뒤 정상 가공한 볼 밸브이다.

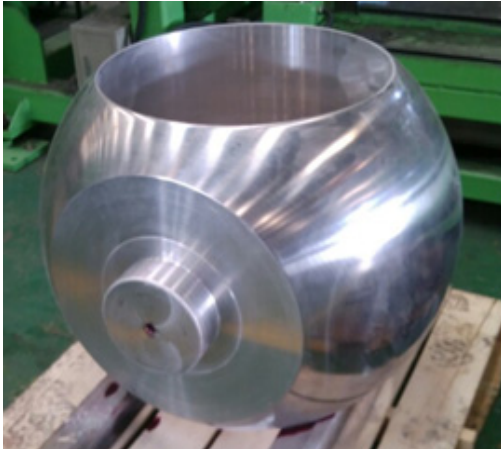


Fig. 16. Ball after finish machining

6. 결론

본 연구에서는 OLP 기반 볼 밸브용 볼 육성용접 자동화 시스템을 개발에 관한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 작업자가 직접 교시하는 방식은 수동으로 작업하기 때문에 정확도가 떨어진다. OLP 프로그램을 통해 좌표 값 얻어 보다 정확한 용접이 가능하다.
2. OLP 시스템을 통해 용접층 두께가 균일하게 얻으므로 용가계의 소모량을 약 20% 절약할 수 있었다.
3. 모재와 용접봉 사이의 아크길이를 일정하게 유지하여 육성용접 불량률을 약 50% 정도 감소시켜 품질을 확보하였다.
4. 볼 밸브 육성용접 자동화시스템 OLP를 개발함으로써 기존의 작업소요시간 총 88시간에서 41시간으로 단축시킴으로써 작업효율이 2.58배 향상되었다.

References

- [1] S. J. Kim, J. H. Lee and T. J. Lho, "Development of Coating Robot Automation System Based on OLP for Radiators in PPS", *J. of KAIS*, vol. 14, no. 2, pp. 585-591, 2013.
- [2] S. J. Lee, S. H. Lee and J. K. Park, "Development of Automation Program Module for OLP basd Industrial Robot Simulation", *Trans. of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, vol. 18, no. 1, pp. 13-21, 2009.
- [3] S. K. Oh, B. H. Choi, S. H. Eun and C. J. Sung, "An Establishment Case of Welding Robot OLP System Using 3D Design Model Information", *Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea*, pp. 43-43,

Sept. 2007.

- [4] J. H. Borm, "An Efficient Calibration Procedure of Arc Welding Robots for Offline Programming Application", *J. of KSPE*, vol. 13, no. 1, pp. 131-142, 1996.

노 태 정(Tae-Jung Lho)

[정회원]



- 1984년 2월 : 부산대 기계설계학과 (공학학사)
- 1986년 2월 : KAIST 생산공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : KAIST 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 1999년 2월 : 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 교수

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 기계 제어,자동화 등

장 재 성(Jae-Sung Jang)

[준회원]



- 2015년 2월 : 동명대학교 메카트로닉스 공학과 (공학학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 기계시스템공학과(석사과정)

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 자동화 등

황 성 현(Seong-hyeon hwang)

[준회원]



- 2015년 2월 : 동명대학교 메카트로닉스 공학과 (공학학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 기계시스템공학과(석사과정)

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 자동화 등