

## 직선형 프로세스 파이프 내면 오버레이 GTAW 용접시스템 개발

은 종 목\* · 이 영 규\*,†

\*(주)파워텔

## A Development of Overlay GTAW Welding System for Pipe Inside Straight Process

Jong-Mok Eun\* and Young-Kyu Lee\*,†

\*Powwel Co., Ltd., Seoul 153-803, Korea

†Corresponding author : powwel@powwel.com

(Received April 16, 2014 ; Revised April 21, 2014 ; Accepted April 22, 2014)

## Abstract

In this research, GTA overlay welding system is developed for inside of straight pipes in various diameter. It can be applied to oil, ship building and plant industry, especially pipes connected to pressure vessels, for the purpose of cost reduction by cladding inside of pipes with corrosion and heat resistant alloys such as stainless steel or Inconel. Developed system consists of GTA power source, torch, wire feeding system, automatic arc length adjusting device, CCD camera and cooling unit. Two types of pipe inside overlay welding system are developed. One is for maximum 3m pipe length with 3 inch ~ 12 inch pipe outer diameter. Another type can be applied to maximum 12m pipe length with 7 ~ 24 inch OD. Developed system successfully produced inside clad pipe and the results are shown through cross sectional images of the pipes.

Key Words : GTA, Overlay, Pipe, Cladding, Stainless, Inconel

## 1. 서 언

산업기술의 혁신적인 발전은 용접산업에도 적용되어 지속적인 발전을 거듭하고 있다. 최근의 용접산업은 모든 산업의 근간이 되는 뿌리산업으로서 그 중요성이 더해가고 있다. 용접공정 기술은 보다 정밀하거나, 대형화되고 생산성 향상을 위한 새로운 용접장치들이 개발되고 있다. 본 연구에서 개발된 오버레이 용접 시스템은 내마모성, 내식성, 내열성을 갖는 합금의 재료를 표면에 균일하게 용착시키는 용접법<sup>1)</sup>으로 스테인레스와 같은 내식성 소재를 오버레이(Overlay) 및 크래딩(Cladding)하는 장치이다. 석유 화학, 조선, 플랜트 산업에 사용되는 산업용 압력용기에 부착되는 다양한 구경의 프로세스 파이프의 내면에 사용되는 재료가 스테인레스, 인코넬 등 내마모 및 내부식성이 좋은 특수재료를 사용하는 경우가 많으나 고가이므로 표면에만 이들

특수 금속을 오버레이 용접으로 용착하여 원가절감을 꾀한다. 이는 모든 산업분야에 적용이 가능하다. 개발된 시스템은 불활성가스(Ar, He) 속에서 GTAW(TIG)용접을 적용하는 장치로써 파이프 내부에 용접을 하기 때문에 기본적으로 용접 토치(Torch)는 가장 작은 구경의 파이프에 삽입 될 수 있고 최장 12M까지 연속적으로 용접 할 수 있는 내구성을 갖추고 있다.

## 2. 시스템의 구성

## 2.1 용접 재료

지금까지 상품화되어 있는 오버레이 용접재료는 Fe계 저합금, Cr백철 또는 Fe계 고합금, 탄화물, Ni계합금과 Co계 합금으로 분류되어 있다<sup>2)</sup>. 본 연구의 용접재료는 저탄소강으로 파이프 길이가 3M와 12M로 2개의 시스템이며 우선 3M일 경우 파이프 외경이 3인치

에서 12인치까지 적용 가능하며, 파이프길이가 12M일 경우는 파이프 외경이 7인치에서 24인치까지 적용 가능한 장치들이다. 용접 토치는 3인치의 3M 파이프와 7인치의 12M 파이프 내부에 오버레이 용접을 하면서도 토치의 변형이나 처짐이 없도록 토치의 고정을 견고하게 구성하였다. 파이프 모재의 열 변형은 3인치의 3M 파이프 내부를 오버레이 용접 완료 후 파이프의 직진도 변형을 3[mm]이내로 가능하며 별도의 교정 작업 및 후 작업이 필요 없도록 개발 목표를 정하였다.

## 2.2 전체 구성품의 성능

Table 1에서 전체 구조물(Main frame)을 제작하기 위해 먼저 파이프 모재의 크기가 확정되어야 한다. 파이프의 외부 직경(Out diameter; OD)는 3인치(Inch)에서 12인치로 하며 파이프 내부 직경(Inner diameter; ID)은 최소 56.9[mm]로 적용하였다. 파이프를 회전하기 위한 모터는 최대 72시간까지 연속 용접이 가능하도록 충분한 용량과 신뢰성을 가져야한다. 파이프의 회전속도의 범위는 0.1 [rpm]에서 10[rpm]까지 가변이 가능하도록 설정하였다. 모터의 사양은 5축 서버 모터로 구성하고 파이프 내부에서 용접하면서 뒤로 이송되는 용접토치의 고정대(boom) 이송 속도의 범위는 0에서 1,000[mm/min] ±3[%]로 정하고 파이프 고정척과 토치 고정대의 이송은 서로 동기화가 되어야 한다. 토치는 위빙(Weaving)기능이 되어야 하며 위빙속도 범위는 5[Hz]이내이며 위빙 폭의 조절범위는 10[mm] 이내로 설정하였다. 전체 시스템을 운전하는 컨트롤 장치는 터치스크린과 디지털 입력, 조건 메모리, 위치인식기능, 수동 조작 및 자동 조작 선택이 가능한 PLC 제어기로 구성하였다. 또한 용접 카메라는 용접중의 용접 풀(Pool)을 확인하도록 필터장치가 내장되고 모니터를 통해 용접검사가 가능토록 구성하였다.

## 2.3 토치몽치와 용접기의 구성

오버레이 용접토치(Overlay torch)는 아래로 처지지 않도록 견고한 지지 와이어에 매달려 있다. 토치의 구조는 처짐을 방지하는 구조이며, 토치의 냉각은 수냉 방식이며 토치몽치 내에 용접케이블이 내장되고 피 용접 파이프와의 절연이 확실히 이루어져야 한다. 와이어의 송급은 토치몽치에 부착된 공급 와이어 송급기가 장착되어 푸쉬풀 방식의 와이어 송급이 이루어진다. 와이어의 속도는 용접품질에 큰 영향을 주므로 간섭을 최소화 하였다. 가스의 공급은 토치몽치에 가스 공급라인이 내장되고 파이프 외부에서 가스유량을 조절토록 하였고 또 토치몽치에 카메라가 장착되어 운전자가 용접품질을 감시하거나 불량위치를 찾는데 사용되도록 하였다. 토치의 전극 및 노즐은 최소구경에서도 용접이 가능토록 최소형 전극봉과 노즐을 제작하여 부착하였다. 용접토치의 헤드각도는 ±15도 이내로 조절 가능하도록 설정하였다.

GTAW 용접기는 펄스용접이 되어야 하며 펄스파형(Pulse waveform)의 정밀도가 정확하여야 하며 펄스출력과 와이어 송급과 위빙이 서로 인터페이스(Interface) 되어 동기화가 되어야 한다. 여기서 펄스 베이스 전류의 범위는 50[A]에서 400[A]이며 펄스의 전류 범위는 50[A]에서 600[A]이고 펄스 폭 범위는 30에서 85[%]이며 펄스 주파수의 범위는 0.5에서 50[Hz]이며 용접기의 사용률은 600[A]일 때 100[%]이어야 한다.

## 3. 오버레이 3M 용접 시스템의 개발

### 3.1 3M 용접 조건

3M 파이프 내면 오버레이, 크래딩 시스템의 적용 파이프의 길이는 500[mm]에서 3,000[mm]의 용접이 가능하며 파이프의 외부 직경은 3인치에서 12인치까지 적용하고 최소 내부직경은 55[mm]로 설정하고 모터는

**Table 1** Specification of Overlay GTAW Welding system for Pipe Inside Straight Process

No.	Description	Specification	Q'ty	Remark
1	Main frame	Main frame for overlay welding	1	Min. Length: 3000mm Output diameter: 3"~12" Min. Inner Diameter: 56.9mm
2	Overlay torch unit	Protected hang down.	2	Water cooler type
3	Pipe cooling unit	Uniformity cooling	2	Chiller
4	Welding machine	GTAW600A, Pulse control (Duty cycle 100%)	1	Continue welding 72hr
5	Wire feeder unit	Continue filler wire	1	Continue welding 72hr
6	Arc voltage control	Minimum sensitivity 0.1V	1	Automatic arc length control
7	Monitoring unit	Vision camera	1	Inspection or repair



Fig. 1 Picture of overlay welding system for 3M

5축서보 모터로 회전속도가 3M 파이프의 연속작업 시 0.05[rpm]에서 2[rpm]로 정확도는  $\pm 3\%$ 이며 토치봉치의 이동속도는 0에서 1,000[mm/min]으로 가변되며 실제 실험 속도는 0.1에서 5[mm/min]에 정확도는  $\pm 3\%$ 이다. 아래의 Fig. 1은 오버레이 3M 용접 시스템의 실제 사진이다.

### 3.2 3M 시스템의 구성 및 특징

3M 파이프 내부의 용접을 진행할 경우 용접토치 봉치는 고정레일 역할의 2줄의 철심 와이어에 고정된다. 이는 용접 중에 토치의 흔들림이나 처짐이 발생할 경우 불량이 되므로 견고하게 설계되도록 구성하였다. 실제 용접의 적용을 보면 파이프 외경이 3인치이고 파이프 길이가 3M이며 내경은 56.9[mm]를 용접하였다. 시스템의 구성품은 GTAW 용접기와 용접 토치 봉치, 와이어 송급장치와 A.V.C 및 냉각기 등으로 구성된다. 또한 동시에 2겹(Pass)의 용접을 적용할 수도 있다. 이는 파이프의 외경이 4인치이고 파이프의 길이가 3M인 경우 동시에 2겹 오버레이 용접을 할 경우 GTAW 용접기가 2대가 필요하고 용접토치와 와이어 송급기도 2대가 필요하며 A.V.C는 한 대로 토치봉치 전체를 제어한다. 다음의 Fig. 2는 본 시스템에 적용된 부속장치들의 사진들이다.

### 3.3 3M 오버레이 용접 실험

오버레이 용접 장치를 설계하여 개발한 후 용접을 실험하였다. 수많은 시행착오를 행하면서 시스템을 보완하거나 수정하였으며 모재 파이프의 열 응축에 대한 어려움과 냉각 방법에 대한 시행착오가 있었지만 Fig. 3과 같은 모재를 만들어냈다. 그림의 모재는 용접 비드(Bead)의 폭이 5에서 9[mm]로 일정하게 만들어졌고 비드의 높이는 2에서 3[mm]로 균일하게 생성되었음을



Fig. 2 Picture of other machines in overlay welding system for 3M

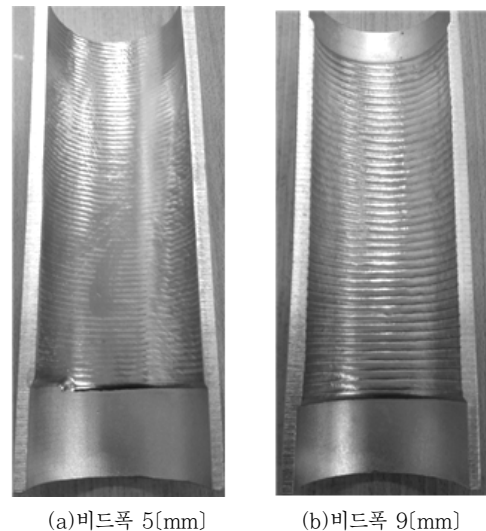


Fig. 3 Picture of overlay welding pipe sample.

확인하였다.

실제로 3M 오버레이를 하는 용접공정의 실행하는 사진을 Fig. 4에 나타내었다.

## 4. 오버레이 12M 용접 시스템의 개발

### 4.1 12M 용접 조건

12M 파이프 오버레이 용접을 위한 파이프의 적용 길이는 500[mm]에서 1,200[mm]까지 적용이 가능하도록 설계되었다. 파이프의 외경은 7인치에서 24인치

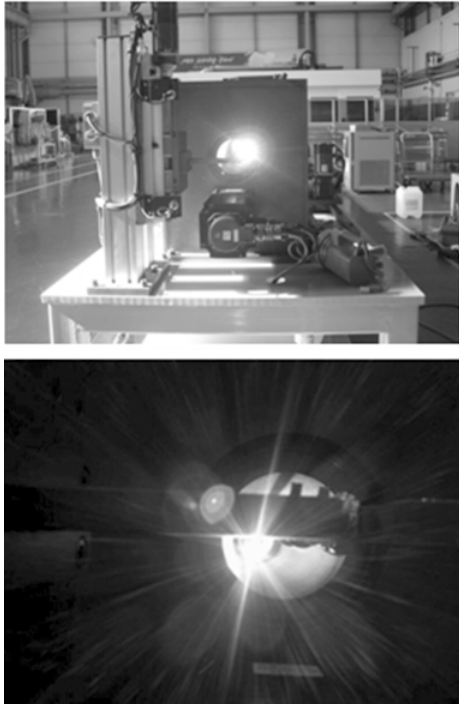


Fig. 4 Picture of overlay welding process

까지 용접이 가능하며 최소 내경은 토치몽치의 크기로 인해 200(mm)로 한정된다. 파이프를 회전하는 구동부의 모터는 7축 서보 모터로 12M의 파이프를 연속적으로 오버레이를 종료할 때까지 이상 없이 운전되어야 하므로 신뢰성이 요구된다. 파이프의 회전 속도는 0.05 [rpm]에서 2[rpm]으로 정확도가  $\pm 3(\%)$ 이며 토치몽치의 이동속도는 0에서 1,000[mm/min]으로 가변되며 실제 실험 속도는 0.1에서 5[mm/min]에 정확도는  $\pm 3(\%)$ 이다. 아래의 Fig. 5는 오버레이 12M 용접 시스템의 실제 사진이다. 본 개발품은 다양한 종류의 파이프 크기와 용접조건을 달리할 수 있도록 와이어 피더 장치도 4개까지 부착되고 또한 핫 와이어(Hot wire)의 송급이 가능하도록 구성하였으며 핫 와이어의 구성과 용접조건은 본 연구에서는 상세히 언급하지는 않고 다만 핫 와이어 전류가 Table 3에서와 같이 20[A]정도로 매우 낮다.

#### 4.2 12M 오버레이 용접 실험

12M 파이프 내부의 용접을 진행할 때 용접토치 몽치를 지지하는 고정레일인 2줄의 철심와이어가 매우 길다. 용접 중에 토치의 흔들림이나 처짐이 방지하기 위해 철심와이어의 탄력을 수시로 확인해야 하는 불편함이 있다. 그러나 그 외의 장치는 3M 오버레이 용접 장치와 유사하나 이송 기간이 12M 이상으로 한 개의 구성품으로 개발할 수 없어 바닥에 고정 레일을 설치하고



Fig. 5 Picture of overlay welding system for 12M



Fig. 6 Picture of overlay welding pipe sample

그 위에 파이프를 설치하도록 구성되었다. 다음의 Fig. 6은 파이프 내부에 2줄의 철심와이어와 용접면을 나타낸다. 여기서 용접 비드(Bead)의 폭이 8에서 9[mm]로 일정하게 만들어졌고 비드의 높이는 2에서 3[mm]로 균일하게 생성되었다.

### 5. 용접실험 결과

#### 5.1 3M 용접실험의 결과

3M의 오버레이 용접의 실험은 GTAW 용접을 동시에 2점으로 용접하여 실험하였다. 이를 위해 용접토치는 2개가 필요하고 파이프의 길이는 최장 3M를 적용

**Table 2** Data sheet of overlay TIG welding in 3M

Pipe out diameter	Torch	Welding current[A]	Welding voltage[V]	Pipe turn speed[d/min]	Torch speed[mm/min]	Wire speed[mm/min]
3 inch	1-Torch	180~200	16~17	280	2.5	700
4 inch	1.2 Pass	190~210	17~18	250	2.0	650
6 inch	1.2 Pass	200~220	17~18	135	1.5	720
8 inch	1.2 Pass	200~220	17~18	90	1.1	720
10 inch	1.2 Pass	200~220	17~18	70	0.9	720

**Table 3** Data sheet of overlay TIG welding in 12M

Pipe out diameter	Torch	Welding current[A]	Welding voltage[V]	Pipe turn speed [d/min]	Torch speed [mm/min]	Wire speed [mm/min]	Hot wire current[A]	Webbing [mm]
12 inch	1.2 Pass	210~220	17~18	180	1.5	160	20	10
16 inch	1.2 Pass	220~230	17.5~19	60	0.75	160	20	10
2 Torch 4 Wires								

하고 용접 와이어의 종류는 초층(1 Pass)일 때는 스텐레스 309 계열을 사용하고 다음 층(2 Pass)은 스텐레스 316L을 사용하였다. 여기서 비드형상의 높이는 2.5[mm]에서 3[mm]로 측정하고 비드의 폭은 7[mm]에서 8[mm]로 측정되었다. Tabl 2는 3M의 오버레이 용접 시 용접전압과 전류 및 파이프와 토치의 속도 등을 나타내는 실험 결과표이다.

## 5.2 12M 용접실험의 결과

12M 오버레이의 용접도 GTAW 용접기 2대를 사용하여 2개의 토치로 동시에 용접을 행하며 파이프의 길이를 최장 12M로 실험하였다. 용접 송급 와이어는 초층일 때 스텐레스 309 계열을 사용하고 다음 층에서 스텐레스 316L이나 인코넬을 사용하였다. 용접 비드의 높이는 2.5[mm]에서 3[mm]로 측정되고 비드폭은 7[mm]에서 8[mm]로 균일하게 비드가 생성됨을 볼 수 있었다. Table 3은 12M오버레이 용접 시 용접 조건표이다.

## 6. 결 론

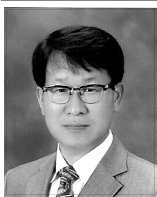
직선형 프로세스 파이프 내면 오버레이 GTAW 용접 시스템을 개발하여 용접 실험을 하고 용접공정에 필요

시스템을 개발하여 용접 실험을 하고 용접공정에 필요한 용접 조건을 도출하기까지 많은 시간이 필요하였고 시스템의 불안정이나 용접 불량과 열 응축으로 인한 문제점들을 많이 경험하였다. 이러한 문제점을 개선하고 보완하여 용접의 품질을 향상하기 위해 용접전류와 전압을 재설정하고 파이프의 회전속도와 토치머치의 이동 속도를 조절하여 마침내 미려한 비드와 용접 침투력을 만족하는 데이터를 얻을 수 있었다. 그리고 열 응축과 뒤튐림을 방지하기 위해 용접부위를 따라가며 냉각하는 장치도 보완하였다.

본 연구는 한정된 재료를 오버레이하기 위한 용접장치의 실험으로 보다 폭 넓은 실험을 할 수 없는 연구의 한계를 보였지만 향후 특수금속의 오버레이 용접의 수요가 확대될수록 오버레이 용접의 연구가 더 필요하며 이 분야에 대한 연구도 활발히 진행되기를 기대한다.

## Reference

1. Yong-Rae Kim, Hyunbyung Chae, Jae-Woong Kim, "Welding Heat Source Modeling for Heat Flow Analysis of GTA Overlay Welding", KWJS, **31-4**(2013), 62-66 (in Korean)
2. Ho-Cheon Yoo, "Recent Study in Variation of Welding Materials for Overlay Welding". KWJS **31-6** (2013), 17-26 (in Korean)



- 은종목
- 1957년생
- (주)파워웰 대표이사
- 전기공학박사, 대림대학교 겸임교수
- e-mail : powwel@powwel.com



- 이영규
- 1965년생
- (주)파워웰 이사
- 용접공정 개발
- e-mail : sales@powwel.com