

오비탈 용접에서 입열량 제어를 위한 열전도 시뮬레이션 및 온도측정

Heat Transfer Simulation and Temperature Measurement for Heat Input Control in Orbital Welding

김 기정*, 김 진우*, 강 윤배**, 조 상명***

* 부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

** (주) Chowel

*** 부경대학교 신소재공학부 생산가공공학전공

ABSTRACT Orbital GTA welding is used in the pressure pipe line of auto-mobile, LNG and plant piping. To weld the pipe line safely, to some extent, the back bead must be formed in the root pass. In the plate welding the back bead can be observed, but in the pipe welding, the back bead can not be observed directly. In the welding around circumference, the parameters such as gravity, surface tension and arc force are different at each position. And then D/B for welding condition at each position are required. We also studied about the setting of the optimum orbital welding condition by controlling heat input.

Key words : Orbital TIG welding, Pulse welding, Pipe welding, Peak current, Base current, Burn through, Heat input

1. 서 론

최근 유압 파이프 라인, 자동차 산업, 배관설비 등에서 파이프 용접은 고도의 생산성과 정밀성이 요구된다. 그러나, 용접 작업자들의 부정확한 시공방법으로 용접불량 및 용접결함 등이 발생하고 있다.

파이프 라인의 고품질 용접을 하기 위해서는 초층 용접시 용접부의 이면비드가 어느 정도 형성이 되어야 하지만, 원주용접은 평판용접과는 달리 이면비드의 형상을 관찰할 수가 없다. 또한 파이프의 원주를 따라 용접하므로 이면 비드 형상에 영향을 주는 중력, 표면장력, 아크력, 액상·고상의 계면장력 등의 인자가 달라지게 되어 이를 고려한 용접조건을 구하여 사용할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 정확하고 확실한 입열 제어가 없어서는 안되는 파이프 원주용접 공정에서 최적의 입열패턴을 얻기 위해 수행되었다.

본 연구에서는 TIG용접을 이용한 파이프 원주 용접 공정의 시뮬레이션에 있어서 파이프 내의 열전도로 인한 열축적 특성 뿐만 아니라 비열과 밀도 등의 물성 변화도 고려하여 해석하였다. 또한

파이프 용접시의 온도를 측정한 결과와 시뮬레이션 결과를 이용하여 연강 파이프의 최적 입열제어가 가능한 용접조건을 추정해 보았다.

2. 오비탈 TIG 용접실험

2.1 사용재료 및 물리적 성질

Table 1은 원주용접 시뮬레이션과 실험에 사용된 재료의 대표적인 물리적 성질을 나타낸 것이다.

Table 1 Physical properties of materials

Properties Materials	Specific Heat, C(20℃)	Thermal conductivity, K(20℃)	Density, ρ(20℃)
Mild Steel	546 J/kg℃	0.5 W/m℃	7.8 g/cm ³

시뮬레이션 및 용접실험 대상은 파이프 호칭경(N.P.S. : Nominal Pipe Size) 40A(O.D. 48.6mm), 파이프 두께 3.2mm인 파이프 길이 45mm 2개를 맞대기 용접하는 것이다.

2.2 파이프의 온도측정

원주 용접시 파이프 각 구간의 온도변화를 알기 위해 6채널 온도 모니터링 시스템을 사용하여 파이프 내부의 온도를 측정하였다.

Fig. 1은 파이프 내부의 온도측정 위치를 나타낸 것이다.

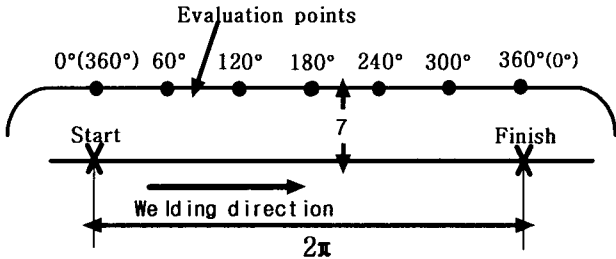


Fig. 1 Position of temperature measurement to pipe inside

온도 측정위치(평가점)는 파이프를 6개 구간으로 나누고, 용접선을 중심으로 길이방향(y축)으로 7mm로 하였고, 그 점에 CA type 열전대를 부착하였다. 용접전류 135A, 아크길이 2mm, 용접속도 20cm/min, 약 480J/mm의 일정한 조건으로 오비탈 TIG 용접을 하였다.

Fig. 2는 파이프 원주 용접시 각 평가점의 열사이클 곡선을 나타낸 것이다.

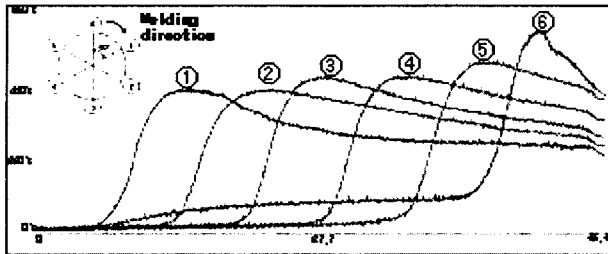


Fig. 2 Heat cycle in orbital welding(same heat input)

Fig. 2는 동일한 입열량을 주었을 때 ①에서 ⑥으로 용접이 진행됨에 따라 파이프 내부에 온도가 증가하고 있는 것을 보여준다. 이와 같이 시간이 지남에 따라 최고 온도가 높아지는 것은 재료의 열전도도에 의해 파이프 내의 열축적으로 인한 것으로 판단된다.

3. 파이프 오비탈 용접공정에 대한 시뮬레이션

3.1 아크효율의 결정

아크 효율은 아크의 열손실로 인해 100%로 되지 못하고, 여러 실험 결과로부터 아크에서 보호가스로 전달되는 열손실은 전체 입열량의 0.5%정도 밖에 되지 않는다. 따라서 아크에서 생기는 열손실은 대류나 전도에 의한 것이 아니라 복사에 의해서 주로 일어난다고 가정해도 무방하다.

아크로부터 복사되어 나가는 열량을 알기 위해서는 아크의 온도 분포를 알아야 하므로 복잡해진다. 그러나 여기에서는 간단히 아크 효율을 calorimetry 방법으로 측정하였다.¹⁾ 이 방법은 냉각수의 온도차($T_{out}-T_{in}$)와 flow rate로부터 측정된다.

다음의 식은 calorimetry법으로 측정할 경우에 아크효율을 나타낸 식이다.

$$\int_0^{\infty} WC(T_{out} - T_{in}) dt = \eta E I t_{weld}$$

여기서 W 는 물의 유량, C 는 물의 비열, T_{out} 는 출구측 물의 온도, T_{in} 은 입구측 물의 온도, t_{weld} 는 용접시간이다.

Fig. 3은 calorimeter의 장치 모식도와 TIG 용접시 calorimetry법으로 측정했을 때의 물의 온도 변화 곡선을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 파이프 표면에서 아크를 일으켰을 때, 이 방법으로 측정된 아크 효율은 약 0.67이었던 것이다.

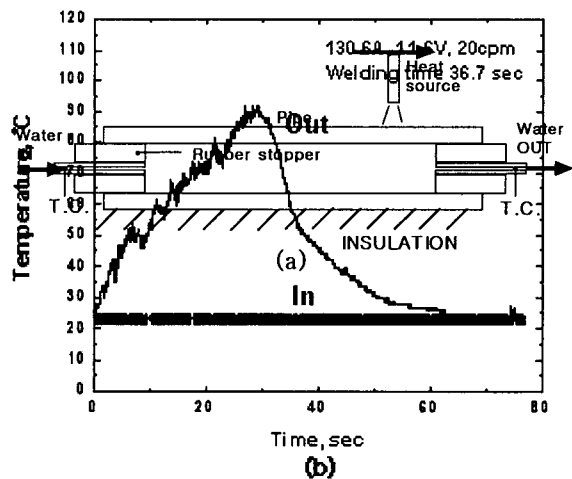


Fig. 3 Measurement of arc efficiency in TIG welding (a) Calorimeter; (b) Increase of cooling water temperature

3.2 형상 모델링 및 입열 조건

정확한 해석을 수행하기 위해 파이프의 형상을 3차원으로 모델링하였다. Fig. 4는 전체적인 모델링 결과를 나타낸 것이다. 시뮬레이션에 사용한 요소는 8절점 블록요소(iso-parametric eight-node solid element)이었다. 오비탈 용접은 46초간 이루어지며, 그 원주를 총 92개의 구간으로 나누었다. 경계조건은 공기로 인한 자연대류 손실(내부)과 실드가스로 인한 강제대류(외부) 모두를 고려하였다.

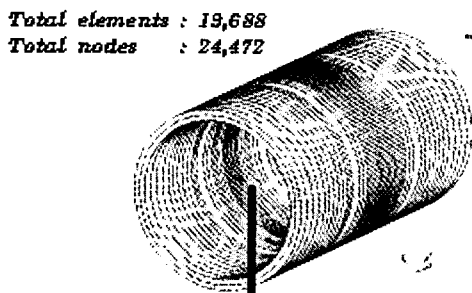


Fig. 4 3D model of N.S. 40A(O.D. 48.6mm), Thickness 3.2mm

Fig. 5는 용접부 요소의 형상과 입열범위를 나타낸 것이다.

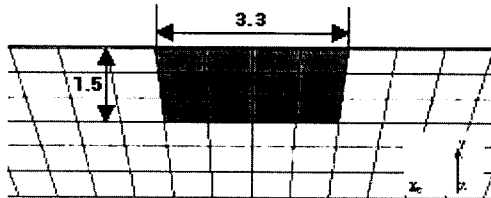


Fig. 5 Element shape and heat Input Range of welds

본 연구에서는 용접조건을 전류 135A, 전압 11.8V(아크길이 2mm), 용접속도 20cm/min으로 하였다. 이 때, 아크 효율은 0.67로 하였으며 입열량은 3200J/cm로 하였다.

또한, 아크 유효반경의 결정을 위하여 다음과 같은 Cho의 식²⁾을 적용하였다.

$$A_R = a_1 + a_2L + a_3L^2$$

여기서, A_R 은 아크의 유효반경이고 L 은 아크길이, $a_1=1.957$, $a_2=0.723$, $a_3=-0.032$ 이다.

상기의 아크 유효반경 식에 근거하여 아크 열원을 파이프 길이방향으로 폭 3.3mm, 원주방향으로 한 구간 1.66mm씩 이동시키며 각 구간별(92개 구

간)로 0.5초간의 열량을 덤프시켜 3차원 열전도 시뮬레이션을 수행하였다.

3.3 시뮬레이션 결과

Fig. 5는 오비탈 용접 실험을 통하여 파이프 내부의 온도를 측정된 결과와 용접선에서 7mm 떨어진 평가점에서 시뮬레이션 후의 온도를 나타낸 것이다.

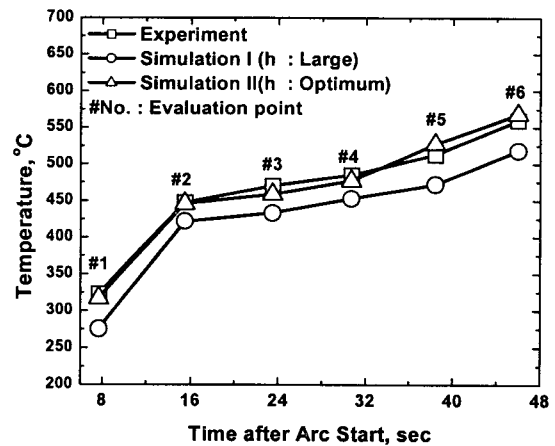


Fig. 5 The result of the simulation and the welding experiment at each section(same heat input)

Fig. 5에서 시뮬레이션 II의 결과가 실험결과와 매우 유사한 경향을 보였다. 이것은 시뮬레이션 II의 모델이 Volume Flux의 열량 투여 깊이가 적절하고 강제 대류계수가 적절하였기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결 론

파이프 원주 용접에서 입열량 제어를 위한 열전도 시뮬레이션 및 온도측정에 관한 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) TIG 파이프 오비탈 용접 시의 아크 효율을 calorimetry 방법으로 측정된 결과 0.67이 나왔다.
- (2) Volume Flux의 열량 투여 깊이와 강제 대류계수를 적절하게 선택함으로써 실험 결과와 유사한 경향을 보이는 오비탈 용접 시뮬레이션 모델을 구축할 수 있었다.

5. 참고문헌

- 1) Sindo Kou : Welding Metallurgy, 29 to 34
- 2) Young Tee Cho : A Study on Process Analysis in Pipe Inside Girth Welding Using GTAW, M.Sc. Dissertation(1998), 38 to 42
- 3) Tekriwal, P., and Mazumder, I. : Finite Element Anlysis of Three-Dimensional Transient Heat Transfer in GMA Welding, Journal of Welding Research Supplement(1988), 150-s to 156-s
- 4) S.I. Seo, C.D. Jang : A Method for Analyzing Heat Conduction, Journal of the Korean Welding Society(1990), Vol.8, No.2, 53 to 57