

정적열원하에서의 스테인레스강 용접부의 열전달 및 유체유동의 해석적 연구
(Numerical Study on the heat transfer and fluid flow of weld pool
under stationary heat source in stainless steel)

김정호, 이창희, 윤의박
한양대학교 금속공학과

1. 서론

금속의 용접접합시 용접부에서 발생하는 야금학적 거동에는 weld pool의 온도분포나 유동 등이 아주 중요한 영향을 미친다. 따라서, 용접부의 기계적 성질이나 금속학적 조직을 연구하기 위해서는 weld pool의 열적 성질과 용융금속의 유동 그리고 weld pool의 형상에 대한 이해가 선행되어야 한다. 그러나, 급용융/급냉으로 진행되는 용접부의 온도분포나 유동의 영향에 대한 직접적인 측정이나 관찰이 대단히 어렵기 때문에 용접부에 대한 여타의 연구에 어려움을 부각시키고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에 활발히 연구가 진행중인 컴퓨터를 이용한 수치해석법에 의한 시뮬레이션 기술을 용접부에 적용하여 용접부의 열적, 물리적 거동을 간접적으로 예측하여 용접부에 대한 금속학적 기초자료를 마련하고자 한다.

본 연구에서는 실험적으로 측정하기 어려운 용접부의 온도분포나 유동 등의 물리적인 현상과 특성을 정확히 파악하고 총체적인 급열/급냉의 응고현상에 대한 기초자료를 얻고, 용접부의 여러가지 인자들에 의한 대류의 형태, 그리고 weld pool의 형상을 예측하기 위하여 상용 프로그램 FIDAP(FEM code)을 이용하여 weld pool의 열전달 및 유동해석을 수행하였다.

이러한 열전달 및 유동해석을 통하여 여러 용접상황하에서의 최적조건의 설정, 재료의 선택, joint design, 용접방법에 대한 기초데이터를 제공하고자 한다.

2. 이론적 모델링

weld pool내에서의 온도분포와 그 형상은 용접성을 특정짓는 중요한 요소이다. 또한, 최근에 와서는 weld pool내에서의 대류현상도 용접성에 큰 영향을 미친다. 이러한 대류현상은 용접부위의 최종형상, 균일한 조성, 응고조직에 영향을 미친다. 이러한 대류현상을 일으키는 구동력으로는

- 1) 밀도 및 온도차에 의한 Buoyancy force
- 2) 용입전류와 자체 전자장에 의한 Electromagnetic force
- 3) 표면장력의 차이에 의한 Marangoni effect

등이 있으며, 본 연구의 모델링에서는 위의 3가지 구동력에 대한 영향을 고려하였다.

2.1 해석영역의 설정

본 연구는 2차원 모델링으로 그 해석영역은 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 해석영역은 좌우 축대칭으로 좌측의 모재에 대해서만 해석을 수행하였다. 또한, 중심축에서 4mm까지를 열원이 가해지는 영역으로 설정하였고, 모재의 두께는 5mm이다.

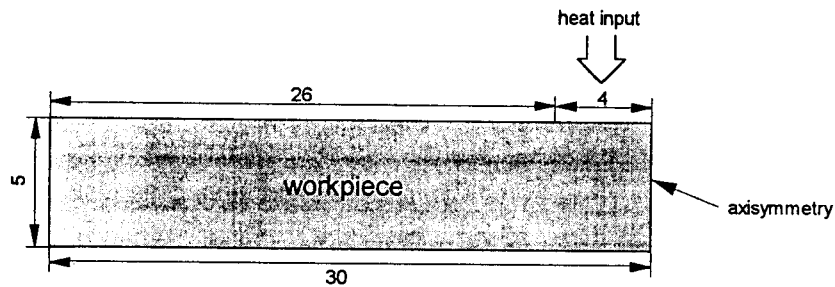


Fig. 1 Schematic view of analysis region(unit : mm)

2.2 기본적 가정

GTA 용접에서 정적 열원하에서의 해석을 수행하는 본 모델은 기본적으로 다음과 같은 가정을 두고 해석을 수행하였다.

- 2차원 비정상(transient) 상태, axisymmetry
- 열·물리적 성질은 온도에 의존하는 함수로 설정
- 용접부 표면에서의 표면장력은 온도의 함수로 설정하였으며, 모재 중 황 및 산소 등 원소의 영향은 무시하였다.
- 용접부내의 대류에 의한 유동은 Newtonian, laminar flow로 설정
- 모재내에서의 열전달은 열전도에 의한다.
- 모재 표면에서의 열방출은 대류열전달에 의존하며, radiation은 무시하였다.

2.3 지배방정식

본 연구에서의 지배방정식은 다음과 같다.

(1) Continuity equation(Mass conservation)

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

(2) Momentum conservation equation

radial component momentum

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial r} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] - \frac{1}{\rho} (J_z B_\theta) - \frac{1}{\rho} Ku$$

axial component momentum

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial r} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] - \frac{1}{\rho} (J_z B_\theta) - \frac{1}{\rho} Ku + g\beta(T - T_r)$$

(3) Thermal energy conservation

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial r} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] - \frac{\Delta H}{\rho C_p} \frac{\partial f_L}{\partial t}$$

2.3 초기조건 및 경계조건 설정

초기조건으로는 용입열량이 주어지지 않은 초기상태로 용접시편의 초기온도를 25℃ (298K)로 설정하였으며, 경계조건은 다음과 같다. 또한, Fig. 2에 본 연구에서 설정한 경계조건을 자세히 나타내었다.

- 용접시편의 표면에서 대기에 의한 냉각효과는 대류열전달에 의한 열방출에 의존한다.
- 용접시편 표면에서의 속도장은 모두 0이다.

2.4 열·물리적 성질의 입력

본 해석에서 수행한 모재의 열적, 물리적 성질은 Table 1에 나타내었다. 특히, 열전도도, 밀도, 비열, 점성도는 SUS304의 경우, 온도의 함수로 Fig. 3에 나타낸 값을 사용하였으며, 또한 용접부에서의 표면장력항은 P. SAHOO²⁾등이 구한 값을 이용하였다.

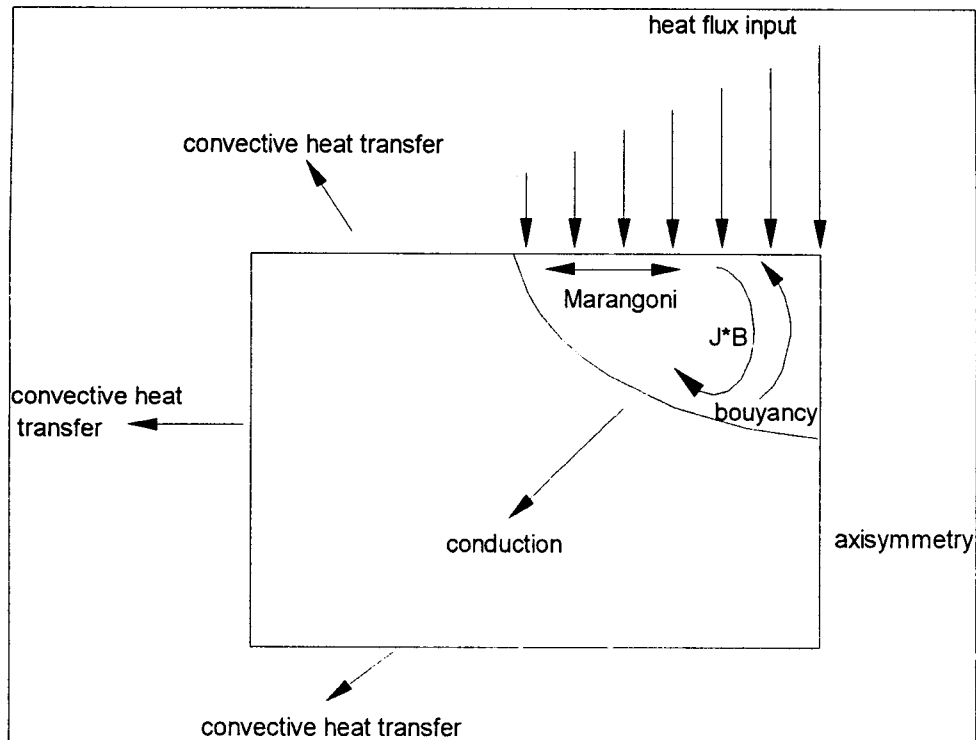


Fig. 2 Representation of the boundary conditions in this analysis

Table 1 Thermophysical properties of the specimen in this study

Properties(Symbols)	Units	SUS304
Gravity(g)	m/s^2	9.8
Density(ρ)	Kg/m^3	temperature dependent
Viscosity(η)	pascal \cdot s	"
Thermal conductivity(K)	$J/m \cdot s \cdot K$	"
Specific heat(C_p)	$J/Kg \cdot K$	"
Convective heat transfer coefficient(h)	$J/m^2 \cdot s \cdot K$	42
Volume expansion coefficient(β)	1/K	1×10^{-4}
Latent heat of fusion(L)	J/Kg	2.47×10^3
Liquidus temperature(T_L)	K	1723
Solidus temperature(T_S)	K	1523

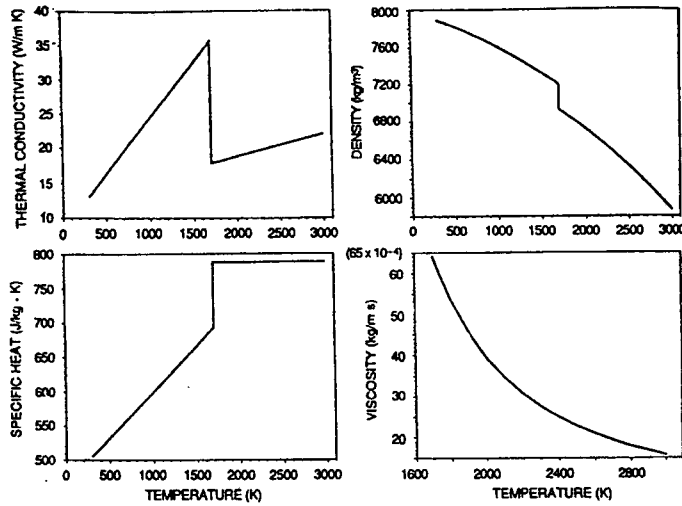


Fig. 3 Thermophysical properties as a function of temperature for SUS304 used in this analysis¹⁾

3. 해석결과 및 고찰

Weld pool내의 열전달 및 유동해석을 통하여 weld pool의 형상, 온도분포, 대류의 형태 등을 용접조건 두가지의 경우에 있어서 비교하여 고찰하였다. 또한, 용접부위의 한 절점에서의 temperature history를 계산하여 시간에 따라 weld pool의 온도변화를 간접적으로 확인할 수 있었다.

REFERENCES

1. T.Zacharia et. all, Met. Trans. B, Vol. 22B, No. 4, 1991, pp.243
2. P. Sahoo, T. Debroy and M.J. Mcnallan, Met. Trans. B, Vol. 19B, No. 6, 1988
3. "FIDAP 7.0 FIPREP USERS MANUAL", pp.3-17
4. "FIDAP 7.0 FIPREP USERS MANUAL", pp.4-11
5. R.T.C. Choo, J. Szekely and S.A. David, Met. Trans. B, Vol. 23B, No. 6, 1992