

- 유한요소법을 이용한 CO₂아크용접부의 용착금속과 열영향부의 크기에측 -

Prediction of Deposited Metal And Heat Affected Zone
By Using Finite Element Method in CO₂ Aro Welding

한양대학원	정밀기계공학과	이 정익*
한양대학원	정밀기계공학과	박 일철
한양대학원	정밀기계공학과	박 기영
한양대학교	정밀기계공학과	엄 기원

1. 서론

CO₂ 아아크 용접에 의해 생기는 용착금속과 열영향부의 크기에측을 3차원 유한요소 모델을 사용하여 해석하였다. 해석을 얻기위해 사용된 해석방법에는 유한요소 범용프로그램인 ANSYS 4.4A를 사용하였으며 온도에 따른 열전도도, 비열 및 상변태에 따른 잠열과 강재대류를 고려하여 해석하였다. 본 연구에서는 수치적으로 예측된 용접부의 용착금속과 열영향부의 크기를 실험값과 비교하였다. 여기서 사용한 재질은 인강(SS41)이다.

2. 해석 모델의 설정

2-1 해석 모델링

이 해석 모델은 ANSYS 4.4 A 의 Element 70 인 3D Isoparametric Thermal Solid 로 표시한 모델링은 Fig.1 에 나타내었다.

2-2 모델링에 대한 가정

용접중의 열전달 과정을 모델링 함에 있어 다음 사항들을 적용했다.

- ① 재료의 물성치들은 온도의 함수이다. Fig.2에 인강에대한 비열과 열전도계수의 온도의존성을 나타내고 있으며, 활용도 고려하였다.
- ② 열은 대류에 의해 표면으로 방출된다.
- ③ 인강의 용융온도는 1427°C이며 열영향부는 이온도와 공석온도(eutectoid temperature) 사이에서 형성된다. 이전의 연구³⁾를 바탕으로 용착금속 경계에 대한 기준은 1482°C의 동온선이고, 열영향부의 경계는 727°C의 동온선으로 취했다.
- ④ 용접 wire의 첨가는 입열에 영향을 미치지만 요소 모델링에 어려움이 있으므로 요소분할에 더해지지 않는다.
- ⑤ 열의 유동은 중심축에 대해 대칭이다.
- ⑥ 열유속의 형태는 반경방향으로 대칭인 Gaussian Distribution이라고 가정한다.
- ⑦ 모델은 3차원이고, 축대칭으로 인해 1/2만을 해석한다.

아아크열에 대한 에너지 손실은 매우 복잡하므로 아아크 효율을 사용하여 에너지를 정량화 하였다. $q = \eta VI$ 를 사용해서 아아크에 의해 공급된 에너지를 이전 참고문헌⁴⁾에의해 본 연구에서 $\eta = 80\%$ 로 가정하였다. 아아크로부터 공작물 표면에 에너지전달은 Gaussian Distribution 열유속으로 표현된다.

* 내부의 열발생이 없을경우 3차원 열전도 지배방정식(Energy Equation)

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X} \left(K \frac{\partial T}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(K \frac{\partial T}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left(K \frac{\partial T}{\partial Z} \right) \quad (1)$$

ρ =금속의 밀도(Kg/m³), C_p =금속의 비열(J/Kg°C)
 K =금속의 열전도도(W/m°C), T =금속의 온도(°C)

* 열유속 q 는 경계에의해 다음 열전달 Mode로 구성되어 있다.

(1) $h(T-T_a)$ 대류 열손실: h =열전달계수(W/m² °C), T_a =분위기 온도(°C)

- (2) q'' . 만일 표면이 규정된 열유속만을 받는다면 q''_0 .
 $y=0$ 평면에서는 대칭으로 인해 $q''=0$ 이다. 모든 다른 표면들은 대류 열손실을 고려한다. 그리고, 용접 Gun과 접해있는 Top Plate($Z=두께$) 만이 아아크로부터 열유속을 받는다.

2-3 아아크 열원의 모델링

평판에 가해지는 아아크 열원은 Smartt⁵⁾나 Goldak⁶⁾이 주장한 Gaussian Profile에 바탕을 두고있으며 이 Gaussian분포는 시간에 따라 이동하는 열원으로 고려하였다.

$$\text{Gaussian 분포: } q''(r) = q''_0 \cdot \exp(-3r^2/r_b^2) \quad (2-a)$$

$$\text{또는, } q''(x, y, t) = \frac{3 \cdot \eta_{eff} \cdot V \cdot I}{\pi \cdot r_b^2} \exp(-3[(x-vt)^2 + y^2]/r_b^2) \quad (2-b)$$

- 여기서 $q''(r)$ = 평판상 위치 r 에 입사된 단위면적 단위시간당의 열유속
 q''_0 = 최대 $q''(r=0$ 에서)
 r = 아아크 중심에서의 거리
 r_b = 全熱의 95%가 평판상에 입사되는 영역을 묘사한 Arc Beam반경 (본연구에서는 $r_b=4mm$)
 V = Arc 전압, I = 용접전류, $\eta_{eff} = 0.8$
 x = 용접방향, y = 용접방향에 수직방향, t = 용접시간

2-4 표면 열전달

자연대류 열전달은 대칭면($y=0$)을 제외하고는 평판의 모든 표면에서 발생한다. Shielding Gas에 의해 영향을 받지않는 모든 표면에서는 자연대류계수 h_n 을 $10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 로 사용하였지만⁷⁾ 보호가스에 의해 영향을 받는 윗표면에서는 다음식³⁾을 사용해서 강제대류계수 h_f 를 구했다.

$$h_f = 13 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \cdot k_{gas}/NPD \quad (3)$$

- Reynold No. (Re) = $V_{gas} \cdot D \cdot \rho_{gas} / \mu_{gas}$
 Prandtl No. (Pr) = $V_{gas} / \alpha_{gas} = \mu_{gas} \cdot C_p / k_{gas}$
 D =노즐직경 ($18 \times 10^{-3} \text{ m}$), ρ_{gas} = CO_2 gas밀도 (1.773 Kg/m^3)
 μ_{gas} = 동점성계수 ($149 \times 10^{-7} \text{ Kg/m} \cdot \text{sec}$), α_{gas} = CO_2 의 열확산(m^2/sec)
 C_p = CO_2 의 비열 ($851 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$), k_{gas} = CO_2 의 열전도도 ($16.55 \times 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{C}$)
 NPD =노즐과 평판사이의 거리 ($20 \times 10^{-3} \text{ m}$).

일정한 h 값이 모든점에서 사용되고, h 의 반경방향 변화는 없다고 간주한다.

3. 용접 열영향부 예측방법

실험에서 사용한 SS41 강판의 사이즈는 $100\text{mm(L)} \times 75\text{mm(W)} \times 9\text{mm(T)}$ 이며 이것에 아아크로 Bead on Plate 용접을 이행했다. 용착급속과 열영향부의 크기를 관측하기 위해 용접부 시편을 채취하여 연마, Polishing, Etching($5\text{ml HNO}_3 + 100\text{ml}$ 에칭 알코올)한후 그 크기를 예측하였고 그 결과는 아래 Table 1에 나타나 있다.

* Table 1 : 용접후 7초후(준정상상태)일때 수치해와 실험결과의 비교 *

Quantity	Numerical Value		Experimental Value		Error	
	Width	Depth	Width	Depth	(%)	
HAZ	9.94 (mm)	5.02 (mm)	9.2 (mm)	4.7 (mm)	8.04	6.81
Deposited Metal	6.12 (mm)	3.46 (mm)	6.4 (mm)	3.6 (mm)	4.38	3.89

4. 해석결과 및 고찰

Table 1은 실험치와 계산치를 단면상의 용착금속과 열영향부의 폭과 깊이로 나타내었고, 그 차를 실험치를 기준으로 백분율로 표시했다. 또한, 수치해석과 실험결과에 사용된 그림은 Fig.3 (a),(b)에 나타내었다.

Fig.4는 3차원에서 측면(XY)에 대한 온도에 따른 등온선을 보인것으로 곡선은 용접부의 열유동 Pattern을 보여준다. 이들 조건은 $V=25V$, $I=220A$, $\eta=0.8$, 용접속도= $6.25mm/s$ 에 대해 그려졌다.

본연구의 목적은 온도분포에 의한 열영향부(HAZ)와 용착금속(Deposited Metal)의 크기를 3차원으로 해석후 그 크기를 예측하는 것으로, 기준은 연강경우 열영향부가 $727^{\circ}C$, 용착금속의 경계를 $1482^{\circ}C$ 로 가정하고 예측한 결과, 용접시간 7초후(준정상상태)일때 Fig.4의 (a)및(b)에서 열영향부 경계는 AB사이에, 용착금속부 경계는 DE사이에 형성됨으로써 예측에 대한 타당성을 뒷받침 해주고 있다. Fig.4(a)는 용접시간 7초때의 온도분포를 Y축 단면에서 본것이고 Fig.4(b)는 용접방향 단면으로본 온도분포이다.

5. 결론

본연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) CO₂ 아아크 용접에 의해 열전도 해석을 수행하여 온도 분포를 해석하고 이로부터 용착금속과 열영향부의 크기를 예측할 수 있었으며 3차원 해석으로 보다 정확한 예측을 할 수 있었다.
- 2) 3차원 열전도 해석을 통해서도 용착금속및 열영향부의 크기는 실험치와 측정결과사이에 약간의 오차를 보이고 있는데 이는 수치해석상에서 복사(Radation)조건을 고려하고 재료 물성치 오차를 줄인다면 보다 정확한 결과가 얻어지리라 예측된다.

참고문헌

1. Rosental, D.: 1941. Welding Journal 20(5) : pp. 220 S - 234 S
2. Krutz, G. W., and Segerlind, L.J.: 1978. Welding Journal 57(7), 221s - 216s
3. Tekriwal, and Mazumder, J.: 1988. " Finite Element Analysis of Three Dimension Transient Heat Transfer in GMA Welding", Welding Journal .pp.150s - 156s
4. Tekriwal, P., Stitt, M., and Mazumder, J.: 1987. Metal Construction
5. Smartt, H. B., Stewart, J. A., and Elneron, C. J.: " GTA heat input distruction measurements ", American Weld Soc. 66th annual convention, Las Vegas USA May 1985.
6. Goldak, J., Chakravarti, A., and Bibby, M.: 1984. Met. Trans. 15b(6)
7. Friedman, E., and Glickstein, S.S., Welding Journal 55(12) : 408s - 420s
8. Tekriwal, P., and Mazumder, J.: 1988., Metal Construction (to be published)
9. 黃地尙義, 近藤勝義, 西口公地, 森安雅治, 平本誠剛, "아아크 용접의 최적 입열제어", 용접학회 논문집, 제 8 권, (1990), 제 2 호, pp 48 - 53
10. 黃地尙義, 近藤勝義, 西口公地, "최적 입열 조건의 추정 의 알고리즘", 용접학회 논문집 제 8 권, (1990), 제 1 호, pp 48 - 53
11. 益本, 高野, 吉田, " CO₂ I형 맞대기 일층 용접 parameter 설정 program", 용접학회지 48, No.1, pp. 17 - 21 (1979)
12. Boulton, N. S., and Lance Martin, H. E.: 1936. Proc. Inst. Mech. Engrs. 123 : pp.295 - 347, London, England
13. Wilson, E.L, and Nickell, R.E : 1966. Nuolear Engr. and Design 4 : pp. 276 - 286
14. Arora, J. S., " Introduction to Optimum Design " 1989. McGraw-Hill Company pp.45 - 49
15. Dubovetskii, S. V., Sergatskii, G. I., and Kasatkin, O. G., " Optimization of CO₂ Welding Conditions", Automatic Welding, 33, No.12, pp 22 - 26. (1980)

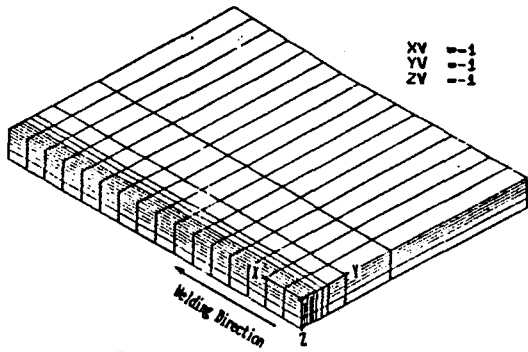


Fig.1 Finite element model of head on plate welding

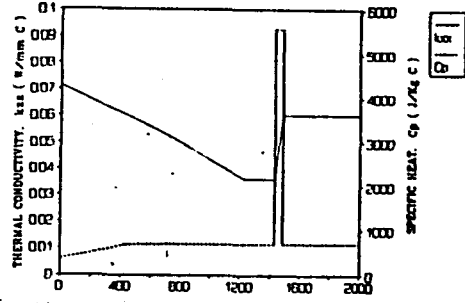


Fig.2 Specific heat versus Thermal Conductivity depending on Temperature for mild steel

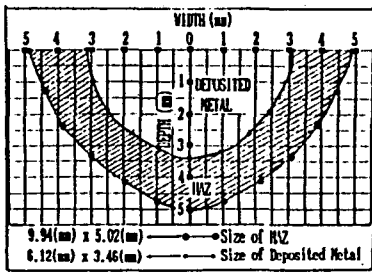


Fig.3 (a) Size of Deposited Metal and HAZ measured from numerical results (t = 7sec)

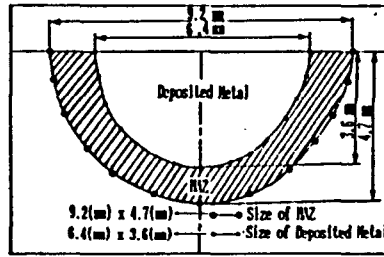


Fig.3 (b) Size of Deposited Metal and HAZ measured from experiment (t = 7sec)

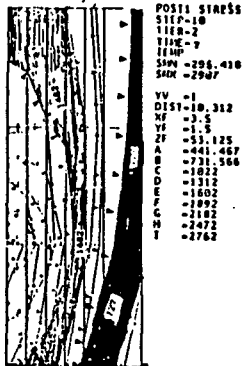


Fig.4(b) Temperature Distribution at 7 sec (수집영역에서 결함)

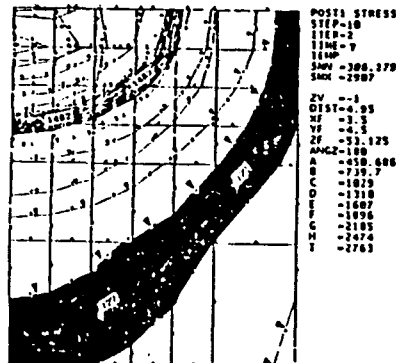


Fig.4(a) Temperature Distribution at 7 sec (1속 인편에서 결함)