

유한요소해석을 위한 하이브리드용접 입열모델 선정에 관한 기초적 연구

Fundamental Study on The Heat Input Model of Hybrid Welding for The Finite Element Analysis

방 한서*, 김 영표**

* 조선대학교 항공·조선공학부

** 조선대학교 대학원 선박해양공학과

ABSTRACT In order to understand the basic knowledge on the model of heat source in hybrid welding, authors have conducted finite element analysis to calculate heat distribution using three heat source models of non-split type and split type(Volume, Volume-Volume, Volume-Surface). From the research result, we can confirm that Volume-Volume heat source of split type is suitable for the analysis of heat distribution.

1. 서 론

레이저-아크 하이브리드 용접의 경우 기존에 사용되고 있는 용접열원들을 결합하여 사용함으로써 인해 열 해석시 각각의 용접열원들이 가지는 특성과 이들이 결합하였을 경우의 특성을 반영하여 줄 필요가 있다. 그러나 현재까지 이들 용접열원들의 특성에 관한 수많은 연구가 현재도 지속 중이며, 특히 하이브리드 용접에 있어서는 아직까지 아크용접에 비해 많은 것이 알려져 있지 않는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 용접열원의 입열량 측면에 주안점을 두어 현재 유한요소 열해석을 위해 사용 중인 몇 가지 용접열원모델을 대상으로 해석을 실시하여 향후 하이브리드 용접열원모델 선정을 위한 기초정보를 얻고자 한다.

2. 해석 이론 및 조건

2.1 해석 이론

온도의 시간 및 공간적 분포는 비정상 열전도 지배방정식(식(1))을 만족하며 경계조건으로는 해석 대상인 모델 내부로의 열전도와 대기 중의로의 열전달이 있는 것으로 하였다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + Q \quad (1)$$

2.2 해석 조건

본 연구에서는 기존에 보고 되어진 하이브리드 용접조건³⁾에 대해 해석을 실시하였으며 이때 사용되어진 용접조건을 Table.1에 나타내었다. 또한, 해석을 위하여 사용되어진 용접열원모델은 비분리형(Non-split type)과 분리형(Split type)으로 구분하여 3가지 경우(Case.1 Non-split type volume heat source, Case.2 Split type Volume-Volume heat source, Case.3 Split type Volume-Surface heat source)에 대하여 열해석을 실시하였으며 이를 Fig.1와 Fig.2에 나타내었다.

Table.1 Hybrid welding condition

CO ₂ Laser	Power	152 kW
GMAW	Voltage	28 V
	Current	216 A
Welding speed		1000 mm/min
Material		Mild steel
Joint type		Butt
Gap		1mm

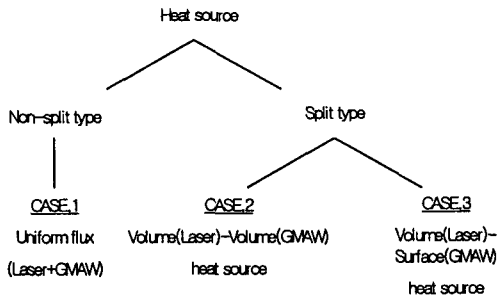


Fig.1 Heat sources for analysis

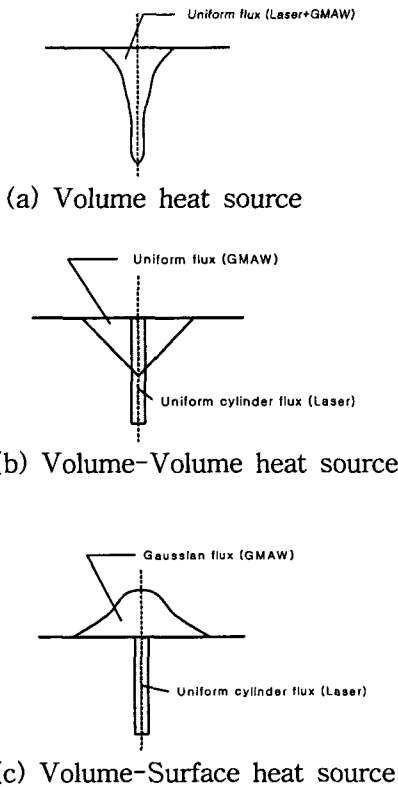


Fig.2 Schematic diagram of heat sources

해석을 위하여 사용되어진 2차원 1/2모델(총 절점수 2525개, 총 요소수 2400, 최소 요소크기 0.2mm×0.5mm)의 치수는 Fig.3에 보인 것과 같으며 4절점 아이소파라메트릭 요소를 사용하여 해석을 수행하였으며 재료의 실제 온도의존성(Fig4)을 고려하였다. 그러나 용융지의 유동, 키홀 내부의 증발현상과 잠열 등은 고려하지 않았다.

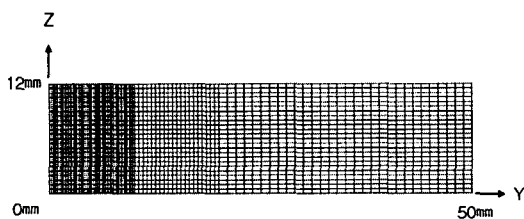


Fig.3 Dimension of 2-D Model

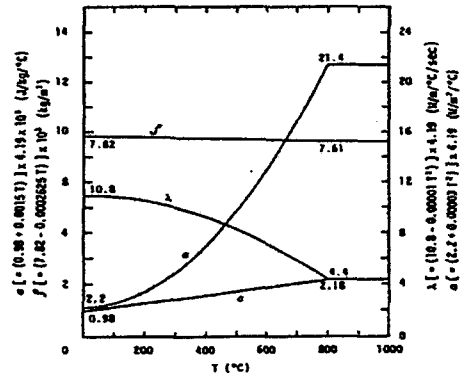


Fig.4 Temperature dependency of physical properties

각각의 용접열원모델에 대한 입열량을 계산하기 위해 다음의 식(2)와 식(3) 및 식(4)를 사용하였다.

CO₂ Laser(Uniform cylinder flux)

$$Q = \eta_L \frac{P}{W_s} \tag{2}$$

여기서, η_L : 레이저 용접효율
 Q : 용접입열(KJ/cm)
 P : 레이저 출력(kW)
 W_s : 용접속도(cm/sec)

GMAW(Uniform flux)

$$Q = \eta_A \frac{VI}{W_s} \tag{3}$$

여기서, η_A : 아크용접효율
 V : 용접전압(V)
 I : 용접전류(A)

GMAW(Gaussian flux)

$$q = \frac{3\eta_A VI}{\pi\sigma^2} e^{-3\frac{r^2}{\sigma^2}} \tag{4}$$

여기서, q : 열유속(W/mm²)
 σ : 특성반경(mm)

상기 식의 이용에 있어서 각 용접법에 따른 용접효율은 CO₂ 레이저의 경우 60%로 하였으며 GMAW의 경우는 80%로 하였다. 또한, Gaussian flux의 계산 시에는 특성반경(σ)을 5mm로 가정하였다.

3. 해석결과 및 고찰

동일한 하이브리드 용접조건에 대하여 용접열원모델을 3가지 경우로 달리하여 열해석을 실시한 결과 다음의 Fig.5와 Fig.6 및 Fig.7과 같이 용융선과 열영향부와 모재와의 경계가 계산되어 졌다.

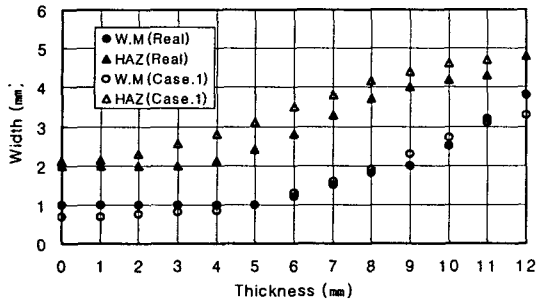


Fig.5 Comparison between experiment and simulation result (Non-split type volume heat source -Case.1)

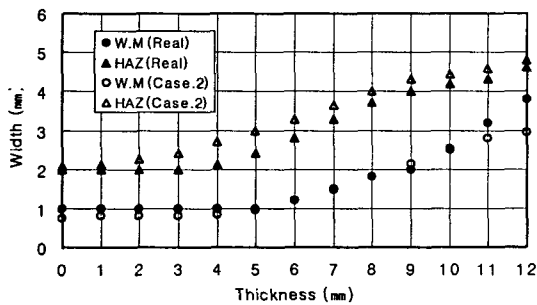


Fig.6 Comparison between experiment and simulation result (Split type Volume-Volume heat source -Case.2)

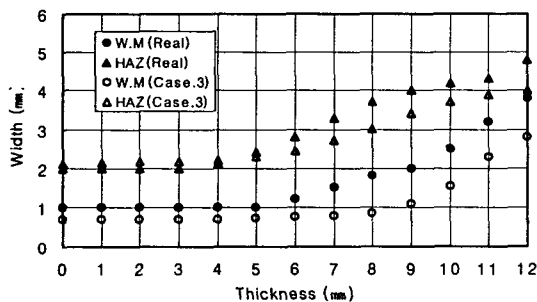


Fig.7 Comparison between experiment and simulation result (Split type Volume-Surface heat source -Case.3)

먼저, 비분리형 용접열원모델인 Case.1의 경우 레이저 용접과 GMAW 용접에 의해 얻어지는 입열량을 더하여 실제 용접부 단면형상에 대해 균일하게 분포하도록 하여 해석을 실시하였으며

해석결과 용융선이 실제 용융선과 일치하고 있음을 알 수 있으나 열영향부와 모재와의 경계는 시편의 중앙부에서 다소 차이가 발생함을 알 수 있었다. 한편 분리형 용접열원모델을 사용한 Case.2의 경우는 용접부의 상부로부터 중앙부에 이르는 부분만 각 용접법에 의한 입열량이 더해지도록 하였으며 이 경우 해석에 의한 용융선은 물론 열영향부와 모재와의 경계 역시 타 경우에 비해 잘 일치함을 알 수 있었다. 그러나 Case.3의 경우는 정성적으로는 어느 정도 일치하는 결과를 보였으나 Case.1과 Case.2의 경우에 비해서는 오차가 크게 나타났다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 하이브리드 용접부의 열해석을 위한 입열 모델 선정에 있어서 각 용접법의 용접열원을 각각 체적 분리형 모델로 처리한 후 이를 중첩하여 해석한 결과가 가장 양호하였으며 향후, 본 결과를 기초로 하여 체적 내에서의 입열량 분포를 최적화하여 유한요소 해석을 위한 하이브리드 용접열원을 제시하고자 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부 2010 생산기반혁신기술 개발사업에 의하여 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. K.W.Carlson : The role of heat input in deep penetration laser welding, ICALEO (1985), 49-57.
2. C. Carmignani, R. Mares, G. Toselli : Transient finite element analysis of deep penetration laser welding process in a singlepass butt-welded thick plate, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.179 (1999), 197-215.
3. Steen Erik Nielsen, M. Myrup Andersen, Jens Klastrup Kristensen, T. Aaboe Jensen : Hybrid welding of thick section C/Mn steel and aluminium, IIW-DOC.XII 1731-02, 2002, 258-272.
4. William M Steen : Arc augmented laser processing of materials, J. Appl. Phys. Vol.51, No.11, November 1980. 5636-5641.