

조선용 강재 A-Grade의 Fillet 용접에 대한 FCAW 및 하이브리드 용접부의 열적 특성 비교

The Comparison of Thermal Characteristics in FCAW & Hybrid Welded Joint for Fillet Welding of Ship Structure A-Grade Steel

오종인*, 박호경*, Rajesh S.R.*, 정은영*, 방한서**

* 조선대학교 일반대학원 선박해양공학과

** 조선대학교 공과대학 항공조선공학부

ABSTRACT Recently many research are going on in the field of application of Laser-Arc hybrid welding for superstructures such as ship-structures, transport vehicles etc. However, the study on heat distribution and welding residual stress of hybrid weld by numerical simulation leaves much to be desired. Therefore a Finite Element based numerical comparison of heat distribution and thermal history in both the FCAW and Hybrid welding been made in this study. Based on this thermal outputs from the present model could be sequentially coupled to suitable mechanical models to predict appropriate mechanical characteristics such as residual stress.

1. 서 론

중공업 및 조선 산업분야에서 경량화, 단위 용접 공정의 생산성 향상, 품질 향상 및 정도관리(열변형 방지)를 통한 공수 절감 등을 목적으로 기존에 사용되고 있는 FCAW 및 SAW 용접공법에서 유럽, 미국 일본 등의 선진국에서는 레이저 용접기술을 이용한 하이브리드 용접을 도입하여 다양하게 적용하고 있다. 특히 독일의 Meyer Werft의 경우 90년대부터 CO₂ Laser -MIG 하이브리드 용접 시스템을 도입하여 여객선 등의 외판 용접에 활용하고 있고 향후 선체 제작 공정 중 전체 용접선의 50% 이상을 하이브리드 용접으로 대체할 계획을 가지고 있다.

이러한 추세에 맞추어 국내에서도 선박 건조에 하이브리드 용접법을 적용하기 위해 부재의 두께에 따른 적절한 출력 및 자동화에 따른 용접선 추적 센스 등의 용접공정과 아크와 레이저간의 간격, 아크토치와 레이저간의 각도 등의 향상에 의한 용접성 및 재현성에 대한 연구가 계속적으로 이루어지고 있으나 현재 하이브리드 용접부의 수치해석 부분에 대한 연구는 매우 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 중공업에서 범용적으로 사용되고 있는 후판 조선용 A-Grade 강재

의 Fillet 용접이음부에 대한 하이브리드 용접부의 역학적 거동을 확립하기 위한 일환으로서 우선 먼저 기존에 사용되고 있는 FCAW 용접부와 하이브리드 용접부에 대하여 FEM 수치해석을 수행하여 열적 거동을 비교하고 그 특성들을 파악하고자 하였다.

2. 해석이론 및 조건

2.1 해석이론

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 중공업 현장에서 사용되고 있는 FCAW 용접조건과 보고되어진 하이브리드 용접조건에 대하여 자체 개발한 유한요소 프로그램을 이용하여 열전도 해석을 실시하였으

며 이때 사용되어진 용접조건을 각각 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 해석시 사용된 강재의 재료로는 조선용 A-grade 강재를 사용하였으며 고려된 재료의 실제 온도 의존성 물리정수와 기계적 물성치 및 시편 사이즈는 Fig. 1과 Fig. 2에 각각 나타내었다. 또한, 4절점 Isoparametric 요소를 사용하고 용접열원을 순간열원으로 가정하여 수치 해석하였으며 용융지의 유동, 키홀 내부의 증발현상, 잠열 및 금속 상변태는 고려하지 않았다.

Table 1 FCAW Welding Condition

FCAW	Voltage	32 V
	Current	300 A
Welding speed		50 cm/min
Wire electro diameter		1.4 mm
Material		A-grade steel
Joint type		Fillet
Gap		1mm

Table 2 Hybrid Welding Condition

CO ₂ Laser	Power	12 kW
GMAW	Voltage	28 V
	Current	260 A
Welding speed		1.5 m/min
Wire feeding speed		9 mm/sec
Material		A-grade steel
Joint type		Fillet
Gap		1mm
Shield gas		He50%, Ar28%, CO ₂ 12%

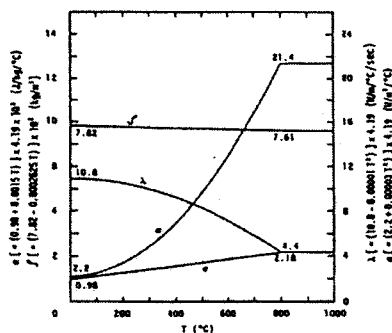
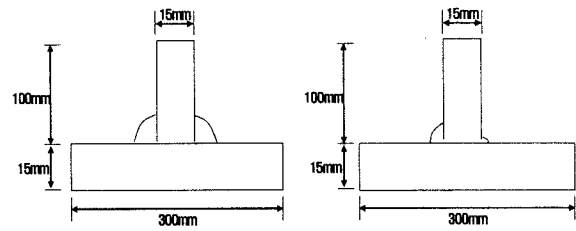
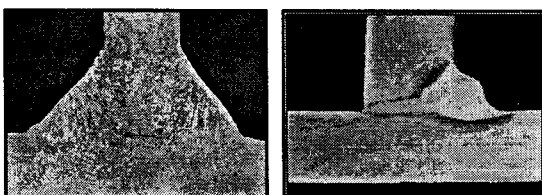


Fig. 1 Temperature Dependency of Material Property



(a) FCAW (b) Hybrid welding
Fig. 2 Schematic of Weldments

시험편의 해석을 위하여 사용되어진 모델 형상은 Fig. 3에 보인 것과 같이 전체모델(총 절점수 4352개, 총 요소수 4065개, 최소 요소크기 0.5mm×0.5mm)을 이용하였고 FCAW 경우 양면 동시 용접을 하는 것으로 하였으며 하이브리드 용접의 경우 한쪽 면으로의 완전용입이 되는 것으로 수치해석 하였다.

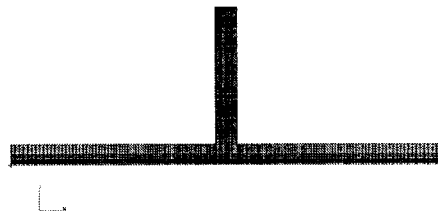


Fig. 3 Finite Element Model of T-Joint

용접열원모델에 대한 입열량을 계산하기 위해 다음의 식 (2)와 식 (3)을 사용하였으며, 각 용접법에 따른 용접효율은 CO₂레이저의 경우 35%, FCAW의 경우 80%로 하였다.

CO₂ 레이저의 경우

$$Q = \eta_L \frac{P}{1000 \cdot W_s} \tag{2}$$

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

FCAW의 경우

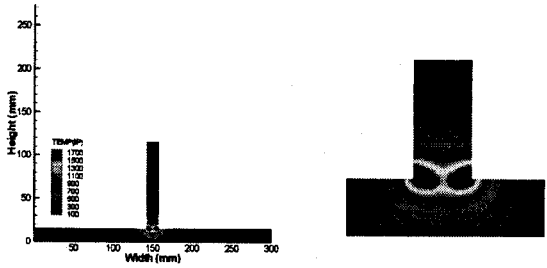
$$Q = \eta_A \frac{V \cdot I}{1000 \cdot W_s} \tag{3}$$

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

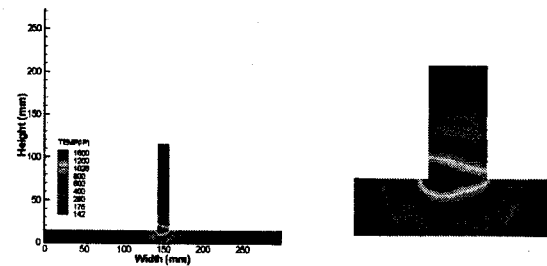
3. 해석결과 및 고찰

자체 개발된 유한요소 수치해석 프로그램을 이용하여 FCAW와 하이브리드 용접에 대한 열전도 해석 결과를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 4는 용접 수행 1초 후 최고 온도 분포를 나타낸 그림으로써 그 결과를 살펴보면 FCAW 용접의 경우 양면 T-Joint 부위에서 모두 최고 온도분포 1810℃를 나타내었으며 하이브리드 용접의 경우는 한쪽 면에서 용접을 하는 특성상 최고 온도분포는 용접을 수행하는 왼쪽 부위에서 최고 온도분포 1950℃를 나타내고 있다. 이러한 현상을 볼 때 최고 온도분포는 거의 차이가 없음을 알 수 있으며 FCAW의 경우 심한 각 변형의 발생 우려가 있으나 하이브리드 용접의 경우는 용접 수행 부위에서 변형이 아주 미소하게 발생할 것으로 사료된다.



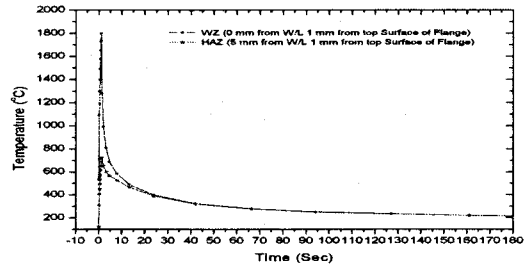
(a) FCAW



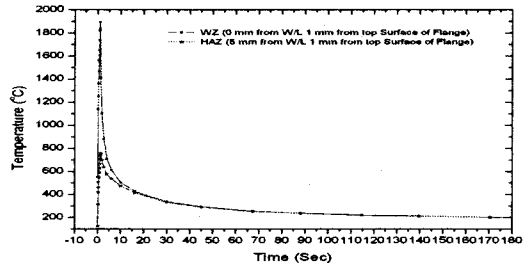
(b) Hybrid Welding

Fig. 4 Contour of Heat Distribution

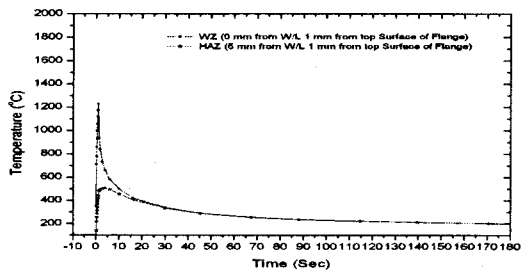
Fig. 5는 FCAW와 하이브리드 용접의 경우 열력 곡선을 나타낸 그림이다. 그 결과를 살펴보면 하이브리드 용접의 경우 냉각구배가 FCAW보다 빠른 것을 알 수 있으며 열영향부의 크기가 보다 더 작음을 알 수 있다. 따라서 하이브리드 용접의 경우 FCAW 용접보다 용접잔류응력의 분포가 훨씬 작게 나타날 것으로 사료된다.



(a) FCAW



(b) Hybrid Welding (left side)



(c) Hybrid Welding (right side)

Fig. 5 Thermal History Graph

4. 결 론

수치해석을 통한 FCAW 및 하이브리드 Fillet 용접부에 대한 열적 거동을 살펴본 결과 하이브리드 용접의 경우 FCAW 용접보다 최고 온도가 다소 높은 현상을 보이고 있으나 변형의 발생과 용접잔류응력의 분포가 낮을 것으로 사료된다. 향후 이 결과를 토대로 실험과 수치해석을 병행함으로써 하이브리드 용접부에 대한 용접성 및 신뢰성을 확립할 것이다.

참고문헌

1. Steen Erik Nielsen, M. Myrup Andersen, Jens Klastrup Kristensen, T. Aaboe Jensen : Hybrid welding of thick section C/Mn steel and aluminium, IIV-DOC.X II 1731-02, 2002, 258-272.