

# 수치 시뮬레이션에 의한 LASER용접부의 열분포 특성에 관한 연구

## A study on the thermal behavior characteristic of LASER welding joint by numerical simulation

방한서\* , 윤병현\*\*

\* 조선대학교 공과대학 선박해양공학과

\*\* 조선대학교 대학원

### 1. 서론

레이저 발전기의 고출력화로 후판 용접의 기틀이 마련되고 있으나 지금까지는 3mm이하의 박판 연구가 주류를 이루고 있고 후판의 연구는 미진한 실정이다. 이에 본 연구에서는 두께가 7mm인 LNG 선박용 TMCP강재의 레이저 용접시 열분포 특성을 고찰하고자 한다. 용접시 재료의 빔 흡수율과 열원의 이동 효과를 고려한 열분포 특성과 용접후 급열, 급냉의 열이력을 수치해석을 통해 시뮬레이션 하였다. 이를 통해 후판의 열적 특성을 규명하여 최적용접 조건을 선정하고자 한다.

### 2. FEM에 의한 열전도 이론의 정식화

레이저 용접은 짧은 시간에 형성되는 keyhole을 통해 열전달이 이루어진다. 키홀내의 열복사와 반사를 통해 전달된 빔은 일부는 플라즈마에 산란, 흡수되고 일부는 금속에 흡수된다. 빔이 선열원이라는 가정하에 대부분의 열이 키홀 벽면을 따라 용접부에 전달된다고 할 수 있다. 본 연구에 이용한 빔모드는 TEM<sub>00</sub> 이므로 용접부에 조사되는 레이저의 heat flux는 식(1)에 의한 정가분포 (Gaussian distribution)를 따라 전달된다고 할 수 있다.

$$q = \frac{3Q}{\pi r^2} \exp\left(-3\left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right) \text{ (w/mm}^2\text{)} \quad \text{-----(1)}$$

q : Heat flux, Q : 물질에 전달된 Power ( Q=A×P, A:흡수율, P:레이저 Power )

r : 레이저 빔의 반경, r<sub>0</sub> : 레이저 빔의 강도가 95%이내인 반경.

재료가 등방성(Isotropic)일 때 연속체의 비정상 열전도문제의 지배방정식은 식(2)와 같다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + Q \quad \text{---(2)} \quad \sum [K]\{\theta\} + \sum [C] \frac{\partial \theta}{\partial t} = \sum [F] \text{-----(3)}$$

{θ}; 온도의 함수 [K]: 열전도 Matrix [C]: 열용량 Matrix {F}: 열유속 Vector

식(2)를 Green-Gauss 정리를 이용하여 부분적분한 후 Fourier법칙의 경계조건을 대입하여 Matrix화하면 식(3)과 같다. 유한요소 정식화를 통해 레이저 용접시의 2차원 열전도 연구를 수행하였다.

### 3. 수치해석에 의한 온도 분포 결과

모델의 크기는 Fig. 3에 나타내었다. 유한요소법에 의한 열전도 프로그램을 개발하여 모재의 흡수율과 Heat flux 크기를 고려하여 이동열원을 주어 표면의 온도분포를 해석하였다. Fig. 1의 (a)는 표면의 온도분포를 (b)는 (a)를 등고선으로 나타낸 온도 분포곡선이며, (c)는 절단면의 온도분포를 나타냈고, Fig. 2의 (a),(b)는 용접속도를 5m/s에서 6m/s로 높였을 때의 용접속도에 따른 온도분포를 비교한 것이다.

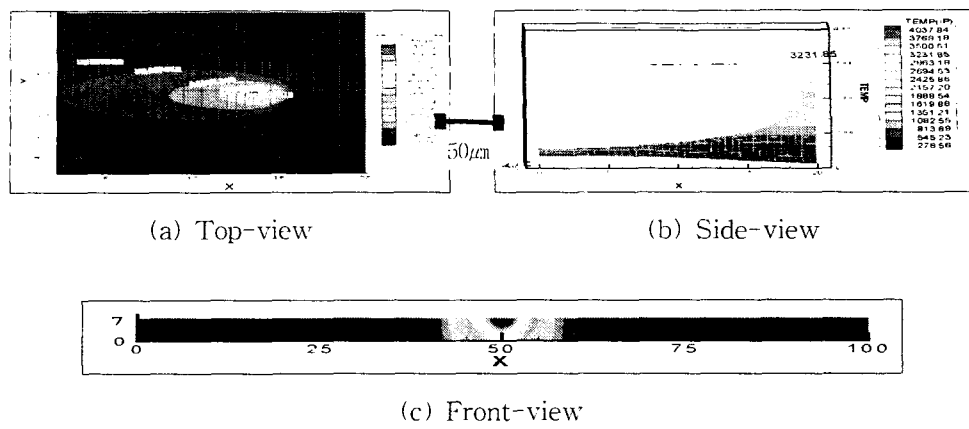


Fig. 1 Temperature distribution considered moving heat effect

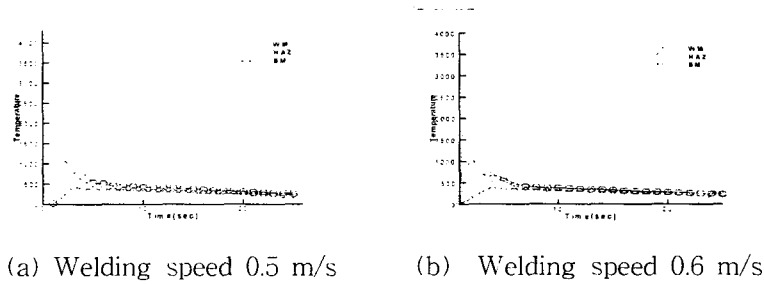


Fig. 2 Comparison of temperature distribution due to the welding speed

#### 4. 실험방법

실험에 사용된 장비는 출력 6KW CO<sub>2</sub>레이저 용접기이며 CW방식이다. 측정에 사용된 시편은 출력을 고정시킨 상태에서 용접 속도를 조금씩 바꿔가며 건전한 용접 비드를 얻을 때까지 반복 실험했으며, 용접시의 공정 변수는 Table1에 나타내었다. 실험 재료명은 ASTM DH-36으로 LNG선박용 TMCP강이다. 열분포와 HAZ영역을 알아보기 위해 시편의 단면을 절단한 후 폴리싱과 에칭하여 조직사진을 촬영하였으며 수치해석 값과 비교 검토하였다. 용접부 단면(a)에 따른 용융부(b), HAZ(c)와 모재(d)의 조직사진은 Fig. 4에 나타내었다.

Table 1. Welding parameter

Power	Welding speed	Shielding gas	Focus	Pulse mode	Active medium
6 KW	0.3 ~ 0.6 m/min	N <sub>2</sub>	-1 mm	CW	CO <sub>2</sub>

Fig. 3 Specimen size (Unit:mm)

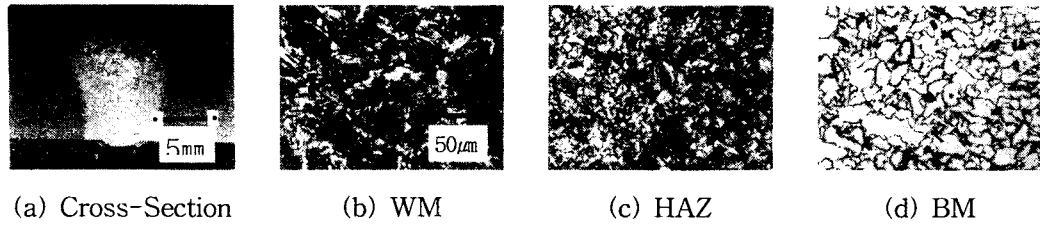


Fig. 4 Microstructure of weld zone

## 5. 결과

수치해석과 실험을 통하여 고찰해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 레이저 용접시의 열분포를 해석할 수 있는 열전도 프로그램을 개발하여 수치해석 한 결과, 실제 현상과 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.
2. HAZ의 크기는 1.5mm 이내였으며 동일 시편을 450A, 33V, 0.6m/S로 SAW 용접했을 때 나타나는 HAZ 6mm에 비해 훨씬 작게 나타나고 있다.
3. 용접부의 온도분포는 keyhole이 형성되는 중심부근에서 4,000°C 이상으로 나타났으며, 냉각속도는 3,500°C/sec 이상으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 김기철 : “CO<sub>2</sub> Laser를 이용한 박판의 용접 기술 개발” 1989년 RIST
2. 한유희, 서정 : “이동 열원을 고려한 전자빔 용접 유한요소해석”
3. 양영수 : “Arc 및 Laser 빔을 이용한 열가공 공정에서 잔류응력에 관한 연구 ” 박사학위 논문
4. 房漢瑞, “有限要素法에 의한 薄板熔接의 2次元 非定常 熱傳導解析”, 大韓造船學會誌, 제27권, 제4호, 1990
5. 矢川元基 外 1人, “有限要素法による熱應力・クリプ・熱傳導解析”, 사이エンス社, 1986
6. M. R. Frewin , D, A. Scott : “ Finite Element Model of Pulsed Laser Welding” The American Welder, a Supplement to the Welding Journal. 2000. 3
7. D. F. Farson, K,R.KIM : “Simulation of laser evaporation and plume ” Ohio State Univ. Welding & System Engineering Department