

# 수치 시뮬레이션에 의한 LASER용접부의 잔류응력 분포특성에 관한 연구

## A study on the residual stress distribution characteristic of LASER welding joint by numerical simulation

방한서\*, 윤병현\*\*

\* 조선대학교 항공조선공학부

\*\* 조선대학교 대학원 선박해양공학과

### 1. 서론

레이저 용접을 이용한 후관판의 용접에서는 국부적 열응력이 크게 작용하여 탄소성 변형에 따른 잔류응력이 발생하게 되고 급열, 급냉의 열이력에 의한 Blow hole과 같은 용접 결함 등이 많이 나타나게 된다. 본 연구에서는 용접후 용접체에 잔류하여 용접 이음부 신뢰성에 악영향을 미치는 잔류응력분포 특성을 고찰하고자 한다. 이를 통해 후관의 잔류응력 특성을 규명하여 최적용접 조건을 선정하고자 한다.

### 2. 열탄소성 해석 이론

용접잔류응력 해석용 프로그램에서는 탄·소성 전 영역에 걸쳐 항복강도, 탄성계수등의 재료정수의 온도 의존성을 고려하였고, 소성역에서는 소성유동(Plastic-flow)이론에 입각하여 증분형으로 나타내어 해석의 정도를 높였다. 또한, 선형등방경화 법칙을 고려한 Von-Mises 항복조건을 항복함수로 사용하였다. 전변형율(Total strain)증분  $\{d\epsilon\}$ 은 아래 식과 같이 탄·소성 및 열변형율의 합으로써 구성되었다.

$$\{d\epsilon\} = \{d\epsilon^e\} + \{d\epsilon^p\} + \{d\epsilon^t\}$$

### 3. 실험 방법 및 결과

레이저 출력을 고정시킨 상태에서 용가재 없이 용접 속도를 변화시켜가며 양호한 비드를 얻을때까지 반복 실험하였다. 시편은 저온인성이 강한 LNG선박용 TMCP ASTM DH-36 강재이며 크기는  $200 \times 50 \times 7,10\text{mm}$ (L×B×T)이다. 보호가스는  $N_2$  gas이며 JIG를 이용하여 양단을 고정한 후 BUTT 용접을 실시하였다. 재료의 화학적 조성과 물성은 Table 1, 용접 조건은 Table 2에 나타내었다. 잔류응력은 TokYo sokki의 FCA-2-11-1L type의 2축 스트레인 게이지를 사용하였다. 게이지 부착후 절단시에는 시편의 온도가 상승하지 않도록 최대한 서서히 절단하였고 스트레인 게이지를 부착할 수 없는 용접부의 불균일면의 응력 측정에는 포항산업과학연구원에서 보유하고 있는 X-Ray 잔류응력 측정기를 이용하였다. 스트레인 게이지를 부착하여 측정된 잔류응력을 Fig. 1에 나타내었다. 10mm 시편에서는 많은 결함을 볼 수 있으며 back bead가 형성되지 않았음을 알 수 있다.

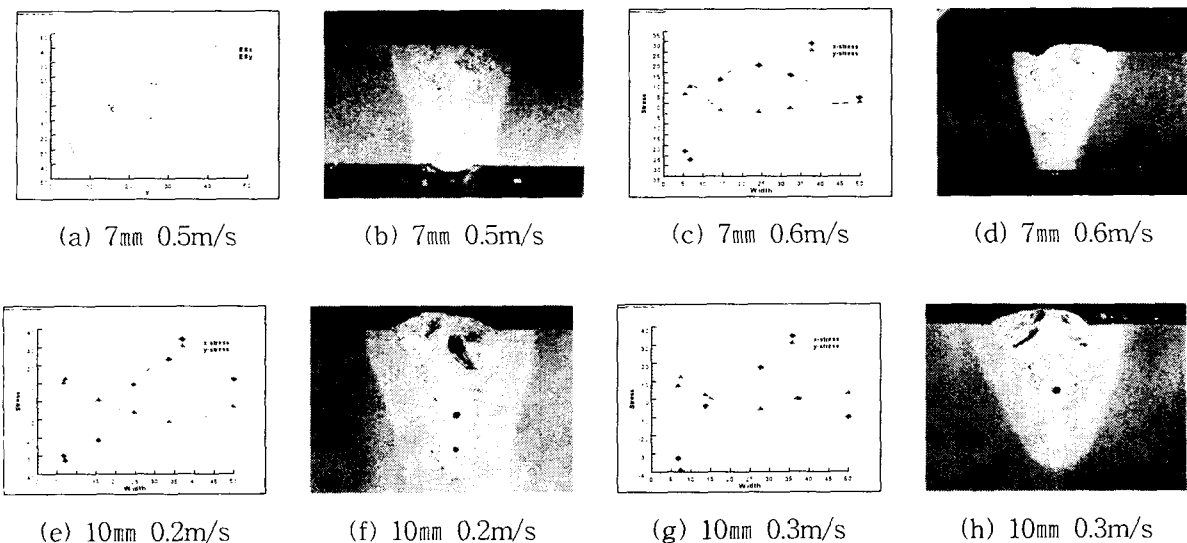


Fig. 1 Residual stress and cross section at 7mm and 10mm

Table 1. Chemical composition and Mechanical property of base metal

Materials	Chemical composition (wt%)					
	C	S	Mn	P	S	
ASTM DH-36	0.18	0.1-0.50	0.9-1.6	0.035	0.04	
	Mechanical property					
	Yield stress	Elongation(%)	Tensile stress	heat conduction coff.	Density (kg/m <sup>3</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )
	51ksi	19-22%	71-90 ksi	0.108 (°C/sec)	7,845	2.03E9

Table 2. The welding conditions

Welding parameter						
Laser Power	Beam mode	Active medium	Pulse mode	Welding speed	focal point	Shielding gas
6 KW	TEM <sub>00</sub>	CO <sub>2</sub>	CW	0.2 ~ 1 M/min	-1 mm	N <sub>2</sub>

4. 수치해석의 잔류응력 분포 결과

유한요소 열탄소성 프로그램을 개발하여 잔류응력분포를 해석하였다. 열탄소성 해석의 입력 데이터는 열전도 해석시의 전과정의 온도분포 이력을 입력 데이터로 사용하였고 요소 갯수는 7mm는 860개, 10mm는 980개이다. 해석시 경계조건은 Fig. 2에 나타내었다. 열탄소성 프로그램으로 해석한 각 두께에 따른 용접속도별 잔류응력 분포를 나타내었다. Fig. 3은 7mm시편에서 용접 속도가 0.5m/s와 0.6m/s일 때 잔류응력분포이고 Fig. 4는 10mm 시편에서 용접속도가 0.2m/s와 0.3m/s일 때 잔류응력분포를 나타내었다.

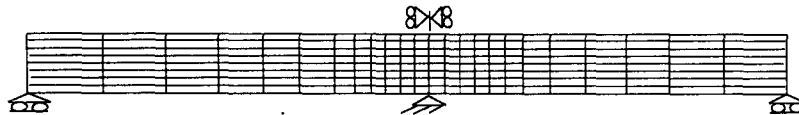


Fig. 2 Boundary condition

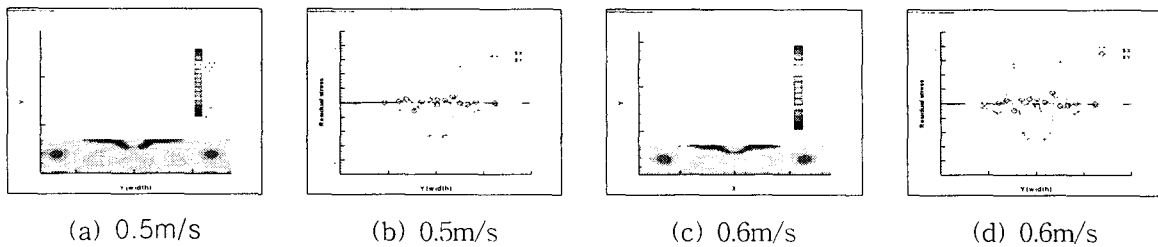


Fig. 3 Comparison of residual stresses due to the welding speed (thickness:7mm)

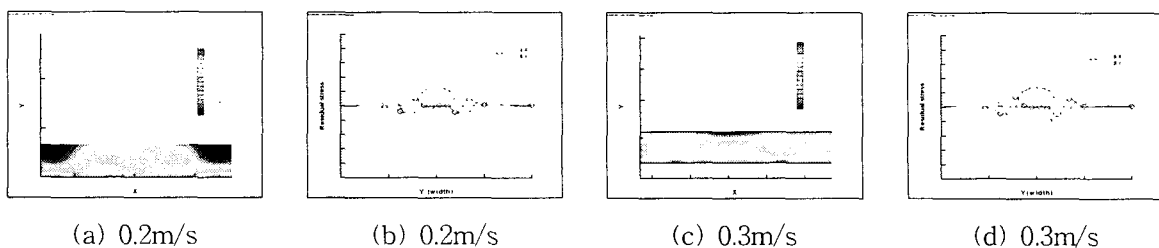


Fig. 4 Comparison of residual stresses due to the welding speed (thickness:10mm)

## 5. 결론

이상과 같이 수치해석과 실험을 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 실험과 수치해석의 결과 값을 분석해 보면 잔류응력이 용접부 중앙 상단에서 압축으로 작용하고 있음을 알 수 있다.
2. 두께가 동일한 시편에서 속도 변화에 따른 잔류응력 분포는 저속도일 때 더 크게 나타나고 있다.

## 참고문헌

1. 방한서 : “후판 용접부의 역학적 특성” 대한 용접학회지 Vol. 10 No.4 Dec. 1992
2. 윤선진, 김재도 : “레이저 용접된 자동차용 판재의 잔류응력분포” 한국정밀공학회 95년도 추계학술대회집 p.p163-1981
3. 양영수 : “Arc 및 Laser 빔을 이용한 열가공 공정에서 잔류응력에 관한 연구 ” 박사학위 논문
4. D. F. Farson, K.R.KIM : “Simulation of laser evaporation and plume ”  
Ohio State Univ. Welding &system engineering Department
5. J. xie A.KAR : “Laser Welding of thin sheet steel with surface oxidation”  
welding research supplement 1999. 10. 343~348