

50kg급 고장력강 레이저용접부의 용접잔류응력 및 파괴인성 특성

노찬승* · 방한서** · 고민성* · 김성주* · 김하식***

*조선대학교 선박해양공학과 대학원

**조선대학교 항공·해양공학부

***조선이공대학 컴퓨터응용기계학부

The Characteristic of Residual Stress and Fracture Toughness on The Welded Joint of HT50 by Laser Welding

CHAN-SEUNG RO*, HAN-SUR BANG**, MIN-SUNG KO*, SUNG-JU KIM* AND HA-SIG KIM***

*Graduate School, Dept. of Naval Architecture & Ocean Eng., Chosun Univ., Gwangju, Korea

**Division of Aerospace and Naval Architecture Eng., Chosun Univ., Gwangju, Korea

***Division of Computer Applied Mechanics, Chosun College of Science & Technology, Gwangju, Korea

KEY WORDS: Laser beam welding 레이저빔용접, CTOD 균열선단개구변위, Charpy absorbed energy 샤르피 흡수에너지, Fracture toughness 파괴인성, Fracture pass deviation(FPD).

ABSTRACT: Laser beam welding process is a relatively new process in comparison with arc welding process, but it is expected to apply widely because of the many advantages, and research and development of that process is being progressed actively for the practical use. the application of this welding process has been restricted due to the high initial investment and the need of precise processing against the material, but cost reduction and thick plate welding in high speed have become practical by recent technological development, and this welding process to not only small parts in automobile, machinery and physicochemical field, but also a large structure and pipe line are being applied. In order to utilize this welding process appropriately to a steel structure, the properties of welding residual stresses and fracture toughness in welded joints are to be investigated for reliability. On this study, after performing the finite element analysis, thermal and residual stress properties have been examined to the general structural steel (HT50) by laser beam welding. Besides, the property of fracture toughness has been investigated by the Charpy impact test and 3-points bending CTOD test carried out in the range of temperature between -60°C and 20°C. From the research results it is revealed that the maximum residual stress appears in the center of plate thickness and the fracture toughness is influenced by strength mis-match.

1. 서 론

레이저빔 용접법은, 아크용접법에 비하여 역사가 짧고, 비교적 새로운 용접법이지만, 여러가지 장점을 가지고 있어 폭넓은 분야에 적용이 기대되어지고 실용화를 향한 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

레이저빔 용접법은 고에너지 밀도를 가지고 있기 때문에 용융부가 좁고 깊은 용입이 얻어지고, 용접입열에 의한 열전도가 적기 때문에 아크용접법에서 문제로 되고있는 용접변형을 저감할 수가 있다. 또한 기계화, 자동화가 비교적 쉬운 특징을 가지고 있다. 반면, 초기 설비비가 고가이고, 재료에 정밀한 개선가공등을 필요로 하기 때문에 그 적용은 한정된 분야에 국한되어 왔었지만, 최근 기술이 향상되어 고출력화, 비용감소, 고속 후판의 용접이 가능하게 되고, 자동차, 기계, 및 이화학분야등의 작은부품 뿐만 아니라 대형구조물의 적용이 진행되고 있다. 강구조물에 대하여 레이저빔 용접법을 유효하게 활용하기 위

해서는, 용접부의 역학적 제특성에 대하여 검토할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 50kg급 고장력강의 레이저빔 용접부에 대하여 수치해석을 통하여 용접잔류응력 및 소성변형도 특성을 고찰하였고, 3점굽힘CTOD시험 및 샤르피충격시험을 하여 용접부의 파괴인성 특성을 고찰하였다.

2. 수치해석 및 실험 방법

2.1 사용재료 및 용접조건

본 연구에 사용된 50kg급 고장력강의 화학조성 및 기계적 성질을 각각 Table 1, Table 2 에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.15	0.26	1.14	0.011	0.002	0.01	0.01	0.034

제1저자 노찬승 연락처: 광주광역시 동구 서석동 375

062-230-7883 cs715@hanmail.net

Table 2 Mechanical properties

Tensile test				CVN	
σ_Y (MPa)	σ_T (MPa)	El.(%)	Y.R.(%)	Temp.(°C)	ave.(J)
390	530	22.8	73.6	0	340

σ_Y :Yield stress, σ_T :Tensile strength,
El. :Elongation(G.L.=32mm), Y.R.:Yield to tensile ratio

시험편의 크기는 길이(L)=500mm, 폭(B)=300mm, 판두께(t)=12mm 이며, 용접은 맞대기 CO₂ 레이저용접으로 용접조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Welding condition of 12kw CO₂ LBW

Average output	Working gas	Gas capacity	Welding speed	Focus
10kW	He	40L/min	1.2m/min	189mm

용접시험편은 L=500mm, B=300mm, t=12mm, 평판 맞대기 접합으로 Fig. 1에 나타내었다.

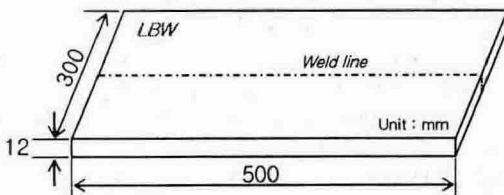


Fig. 1 Configuration of welded specimen.

2.2 수치해석 및 실험

유한요소해석은 2차원 열전도 및 열탄소성 해석을 수행하였으며, 용접선 길이방향의 중앙단면에서 시험편의 대칭성을 고려하여 1/2모델에 대하여 4절점 아이소파라메트릭 요소를 사용하였고, 용착금속 열영향부를 포함하는 영역에서는 세밀한 요소분할(0.1×0.2 mm²)을 하였으며 열탄소성 해석시에는 탄성 및 소성 전 영역에 걸쳐 재료정수의 온도 의존성을 고려하여 해석의 정도를 높이고자 하였다.

용접금속의 파괴인성 실험으로 -60°C~20°C의 온도 범위에서 샤르피 충격시험과 3점굽힘CTOD 실험을 수행하였다.

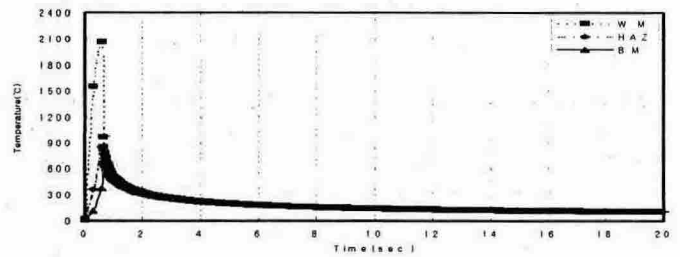
샤르피 충격시험은 용접체로부터 결함이 적은 판두께 중앙부로부터 채취된 표준 V노치 시험편을 사용하였으며, 용량 294J의 시험기를 이용하였다.

3점굽힘CTOD 시험편 역시 샤르피 충격시험편과 동일하게 용접체로부터 결함이 적은 용접금속부 중앙이 되도록 채취하였으며, 시험편의 냉각은 냉각베스를 이용하여 드라이아이스를 투입한 메탄올안에서 수행하였다.

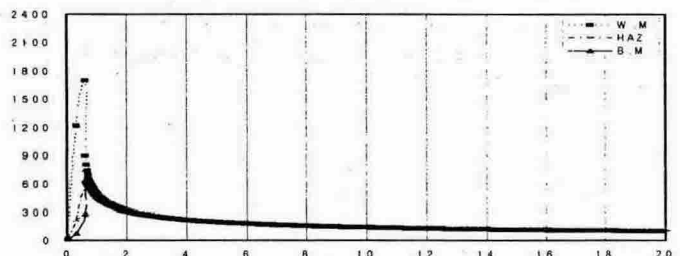
3. 결과 및 고찰

3.1 수치해석

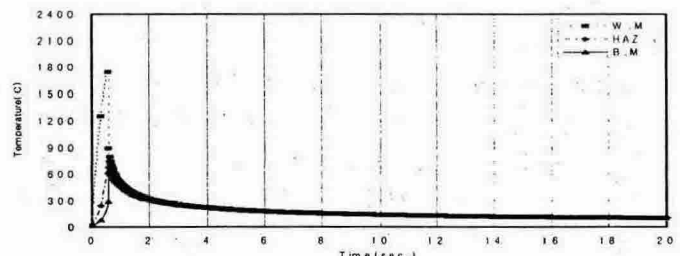
Fig. 2 (a), (b), (c)는 각각 두께방향의 상층부, 중앙부, 하층부에서 용접금속(W.M), 열영향부(HAZ), 모재(B.M)에서 시간에 따른 열이력을 나타낸 것으로써, 공통적으로 1초미만의 짧은 시간동안에 급열, 급냉의 과정이 나타나고 있으며, 그 정도는 용착금속에서 가장 현저하게 보여지고, 두께에 따른 온도분포는 용착금속을 기준하여 볼때, 상층부에서 가장 높은 온도가 형성되고 다음은 하층부, 그리고 중앙부 순으로 나타나고 있는데, 이것은 레이저빔 용접의 특성상 표면(상층부)부로부터 빔이 조사되어 두께방향으로 관통되면서 용접이 이루어지므로 상층부에서 보다 높게 나타나는 것으로 생각되며, 반면 중앙부에 비하여 하층부가 보다 고온이 되는 것은 관통용접에 의하여 하층부에서 열의 집적 현상이 이루어지기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 용접 초기에 온도 구배가 크고, 시간이 경과함에 따라 완만하게 냉각이 진행되는 것을 알 수 있다.



(a) Top section



(b) Middle section



(c) Bottom section

Fig. 2 Temperature variations with time

Fig. 3는 폭(Y)방향을 따라 분포하는 용접잔류응력 특성으로써, (a)는 상단면(z=11.9mm), (b)는 중앙단면(z=6.0mm), (c)는 하단면(z=0.1mm)에서 잔류응력을 성분별로 나타낸 것이다.

두께별 잔류응력 특성은 중앙단면에서 상·하 유사한 대칭적으로 분포하고 있음을 알 수 있고, 응력성분별로 살펴보면 σ_x 는 용착금속 및 열영향부에서 높은 인장응력이 나타나고 모재와의 경계부근에서 직선적으로 감소하는 경향을 보인다. 이처럼 큰 폭으로 직선적으로 감소하는 것은 불균질의 영향으로 사료된다. 즉, 열영향부를 경계로 모재와 용착금속간의 강도차가 심할수록 직선적으로 감소하는 폭이 증가하는 것으로 생각된다. σ_y 는 표면부의 용착금속부에서는 압축응력이 지배적으로 나타나고, 중앙부에서는 인장응력이 나타난다. σ_z 는 중앙부의 용착금속부에서 인장응력이 나타나고, 표면부에서는 거의 0에 가까운 값을 보인다.

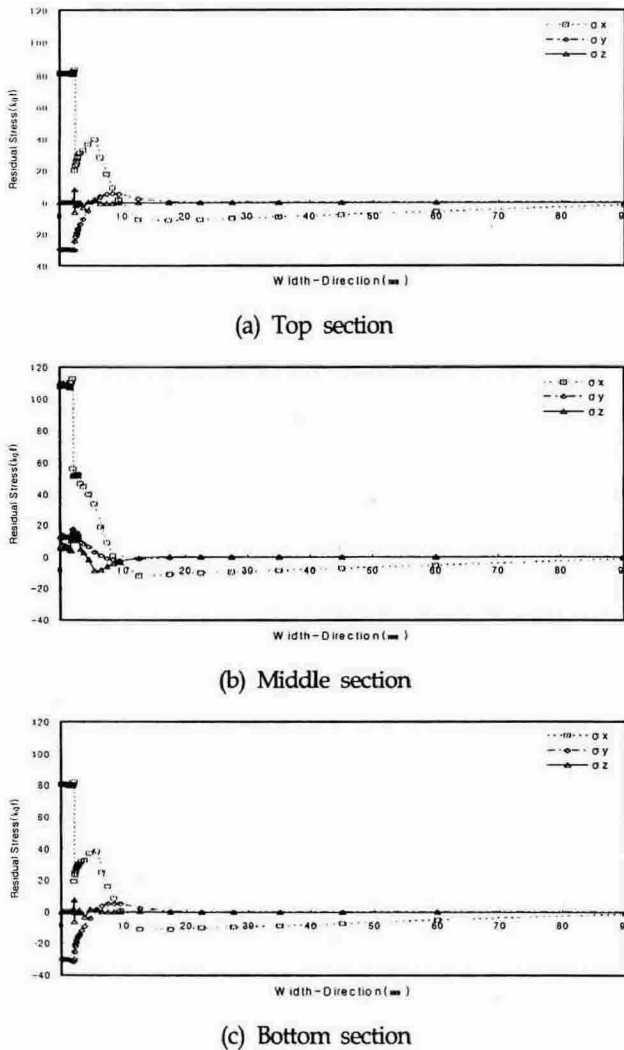


Fig. 3 Residual stress patterns transverse to the weld line.

3.2 파괴인성 실험

Fig. 4는 용접금속 중앙부에 노치를 설계한 표준 샤르피 충격시험을 이용하여 $-60^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 충격시험을 수행한 결과이다. -60°C 에서 가장 낮은 흡수에너지를 나타내었고 -45°C 에서는 흡수에너지가 낮은 시험편에서 높은 시험편까지 폭넓게 분포하고 있으며 -20°C 와 0°C 에서는 흡수에너지가 상대적으로 높게

나타났다.

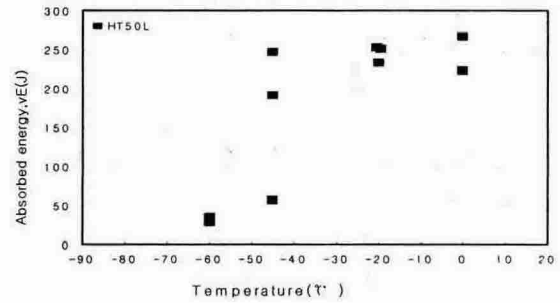


Fig. 4 Charpy transition curve of weld.

시험편의 파괴경로를 관찰한 결과 -45°C 에서 흡수에너지가 낮은 시험편은 그 파괴경로가 용접금속부에서 발생한 반면 흡수에너지가 높은 시험편의 파괴경로는 용접금속으로부터 모재측으로 진행(FPD: Fracture Path Deviation)되어 있음을 알 수 있었다. 따라서 용접금속부가 좁은 레이저용접에서는 충격시험시 어느 일정온도 이상이 되면 파괴경로가 용접금속으로부터 모재측으로 벗어나는 특징이 있다고 생각된다.

Fig. 5는 3점굽힘CTOD 실험결과를 나타낸 것으로서 전체적으로 한계CTOD값은 낮게 얻어졌고 -20°C 에서 실험결과 값이 넓은 범위에 걸쳐 나타났다. 이러한 원인은 파괴경로를 관찰한 결과 충격 시험편의 경우와 마찬가지로 파괴경로가 용접금속에서 직선적으로 이루어진 시험편에서는 낮은 한계CTOD값을 나타내었고, 높은 값을 나타낸 시험편에서는 파괴경로가 역시 모재측으로 벗어나 있음을 알 수 있었다.

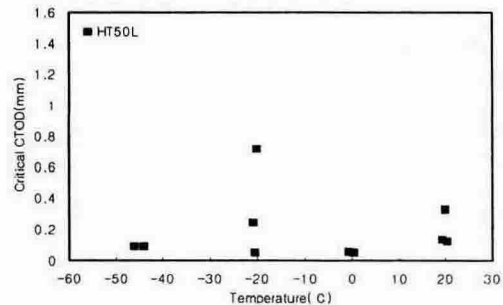


Fig. 5 Temperature dependency of critical CTOD values

5. 결 론

본 연구에서는 50kg급 고장력강 레이저용접부의 용접잔류응력 및 파괴인성 특성을 수치해석과 실험을 통하여 검토하였다. 이상의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 레이저 용접부의 열적 특성은 순간적인 선열원으로 급열·급냉의 정도가 크고, 상하표면부가 중앙부에 비하여 온도가 높게 됨을 알 수 있었다.
- (2) 잔류응력의 최대값은 판 두께 중앙부에서 나타나고, 판두께 중앙부를 경계로 상·하 대칭적인 잔류응력이 분포하는 것을 알 수 있었다.

(3) 파괴인성 실험으로부터 온도에 따른 인성값을 고찰하였으며, 특징적으로 용접금속 폭이 좁은 레이저용접에서는 일정온도 이상에서 파괴경로가 용접금속으로부터 모재측으로 벗어나는 현상이 나타남을 확인하였다.

후 기

본 연구는 2003년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 방한서 (1998). "고장력강 용접부의 열 역학적 거동에 관한 수치해석적 연구", 한국해양공학회지 제12권, 제4호 pp 33-42.
- Kunihiko Satoh, Masao Toyoda, (1986). "Fracture Toughness Requirements and Fracture Toughness Testing of Welds" JWS. Vol 55, No 3, pp 144-152.
- Kunihiko Satoh, etc. (1985). "Fracture Toughness Evaluation by Side-Groove Charpy Tests of HT80 Electron Beam Welds" JWRI. Vol 3, No 1, pp 97-103.
- Koichi YASUDA, Yasushi KITANI, (2000). "Metallurgical Characteristics of Laser Weld Metal for Heavy Plates" JWRI. Vol 18, No 1, pp 95-101.

2001년 6월 19일 원고 접수

2001년 7월 20일 최종 수정본 채택