

## 2.25Cr-1Mo 강에 대한 Laser 및 SMAW 용접부의 잔류응력 분포 및 특성 비교

방한서\* · 김영표\*\* · 김근성\*\* · 김 형\*\*

\*조선대학교 선박해양공학과

\*\*조선대학교 선박해양공학과 대학원

### The Comparison of the residual stresses distribution and characteristic between the Laser welds and SMAW welds in 2.25Cr-1Mo steel

HAN SUR BANG\*, YOUNG PYO KIM\*\*, KUN SUNG KIM\*\* AND HYOUNG KIM\*\*

\*Faculty of Naval Architectural Engineering, Chosun University, Gwangju, Korea

\*\*Faculty of Naval Architectural Engineering, Graduate school of Chosun University, Gwangju, Korea

KEY WORDS: 2.25Cr-1Mo Steel 2.25Cr-1Mo강, CO<sub>2</sub> Laser Welding CO<sub>2</sub> 레이저 용접, 용접잔류응력, SMAW 수동 피복아크 용접, Welding Residual Stresses, Finite Element Method 유한요소해석

ABSTRACT: In order to confirm the possibility of application of laser welding process to 2.25Cr-1Mo steel, the characteristic of residual stress distribution in welds by SMAW and CO<sub>2</sub> Laser welding process have been investigated and compared using the numerical analysis. As the result of the numerical analysis, the possibility of application of laser welding process has been found out in respect to the welding residual stress distribution and mechanical properties in welds.

## 1. 서 론

발전 설비용 압력 용기 제작에 사용되어지는 2.25Cr-1Mo에 대하여 고온 고압의 환경에 적합한 재질에 관한 지속적인 연구가 진행되고 있으나, 설비 구조물 제작 단계에서 적용되는 용접법의 경우 검증된 일부 아크 용접만 사용되어져 왔다. 그래서 본 연구에서는 기존의 수동 피복아크용접(SMAW)과 레이저 용접부의 잔류응력 분포 특성을 유한 요소법을 이용하여 비교 분석하여 레이저 용접의 적용 가능성을 검토하였다.

본 논문에서는 2.25Cr-1Mo 강 시편에 SMAW 용접과 레이저 용접법을 적용한 경우에 대하여 2차원 열전도 및 열·탄소성 수치 해석을 실시하였으며 수치해석 결과 잔류응력분포 특성 측면에서 레이저 용접이 기존의 아크 용접법에 비해 장점을 가질 수 있음을 알 수 있었으며 용접부의 역학적 특성 측면에서 2.25Cr-1Mo 강에 대해 레이저 용접의 적용가능성을 확인 할 수 있었다.

## 2. 해석 이론 및 시뮬레이션 조건

제1저자 방한서 연락처: 광주 동구 서석동 조선대학교 375

062-230-7134 hsbang@mail.chosun.ac.kr

### 2.1 2차원 비정상 열전도 및 열탄소성 해석 이론

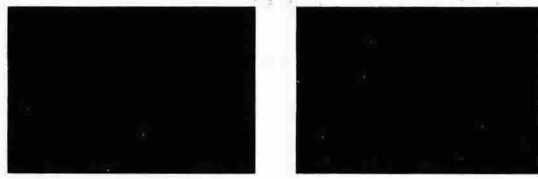
온도의 시간 및 공간적 분포는 2차원 비정상 열전도 지배 방정식을 만족하며 경계조건으로서는 해석대상인 모델 내부로의 열전도와 대기중의로의 열전달이 있는 것으로 하였으며, 갈락킨법을 이용하여 유한요소 정식화하였다.

열탄소성 해석을 위해서는 전변형율에, 탄성 변형율과 소성 변형율 그리고 열응력에 의한 변형율이 포함되도록 하였다.

### 2.2 용접 조건 및 시뮬레이션 조건

SMAW 용접의 경우 총 11Pass로 용접되어졌으며 시뮬레이션 조건은 시편(절점수: 1365개, 총요소수:1248개)에 대하여 각 Pass 당 열전도 해석을 실시하였다. 레이저 용접의 경우 1pass 완전용입용접 조건에 대해 총 절점수 1368개, 총요소수 1251개로 모델링 하였다. 또한 4절점 아이소파라메트릭 요소를 이용하여 2차원 비정상 열전도 및 열탄소성 유한요소해석을 실시하였다. 각종 재료 정수 및 기계적 물성치의 온도 의존성을 고려하였으며, 재료 내부로의 열전도 및 대기중의로의 열전달을 열 경계조건으로 사용하였다. 재료는 등방성이며, 초기 온도는 20℃인 것으로 가정하였으며 역학적 경계조건은 실제 용접현상을 반영하여 적용하였으

며 재료의 역학적 강성 회복온도를 750℃로 가정 하였으며 Fig.1 에 실제 각 용접법에 의해 용접되어진 단면 사진을 보였다.



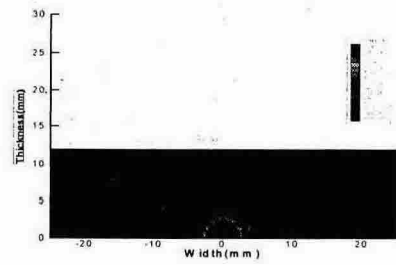
(a) SMAW (b) CO<sub>2</sub> Laser

Fig.1 Thermal distribution (Laser)

### 3. 해석 결과 및 고찰

#### 3.1 용접 열 분포

Fig.2는 SMAW용접 1pass, 5pass, 10pass 그리고 11pass시 온도분포를 나타낸 그림인데 용접열이 열원을 중심으로 균일하게 전도됨을 보이며, 이때 용착 금속부의 온도는 1500℃를 기준으로 하였으며, 열 영향부의 기준은 역학적 강성 회복 온도인 750℃로 판정 하였다. SMAW 용접열의 전도의 경향은 열원을 중심으로 사방으로 넓게 퍼져 나가는 반면에 Fig.3의 레이저 용접의 경우는 열원을 중심으로 시편 폭 방향으로 열이 전달되는 선 열원 형태의 분포를 보이고 있다.



(b) 11 pass

Fig.2 Thermal distribution at 10 pass and 11 pass(SMAW)

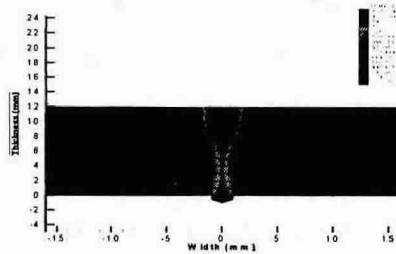
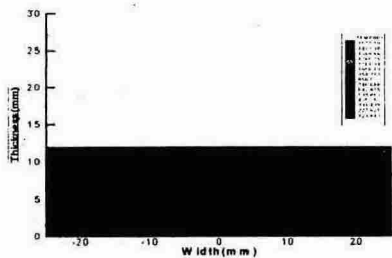
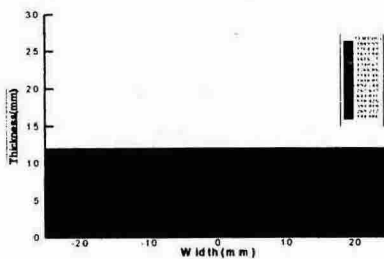


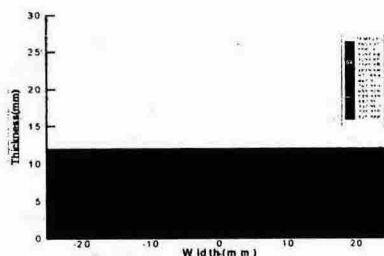
Fig.3 Thermal distribution (Laser)



(a) 1 pass



(b) 5 pass



(c) 10 pass

#### 3.2 용접 잔류응력 분포

각 용접법에 의한 열탄소성 해석 후 표면으로부터 0.5mm 지점을 응력 주목점으로 하여 잔류응력 분포 상태를 Fig.4에 도시하였다. SMAW 용접부의 용접 잔류응력 분포 특성을 보면 용접선 길이 방향 잔류응력 성분인  $\sigma_x$ 는 용착금속부와 열 영향부에서 인장성분이 발생 하였으며 모재부 끝단으로 갈수록 압축성분으로 되는 경향을 보이고 있으며 다중용접 특성으로 인해 좌우의 분포가 비대칭성을 나타내었다.

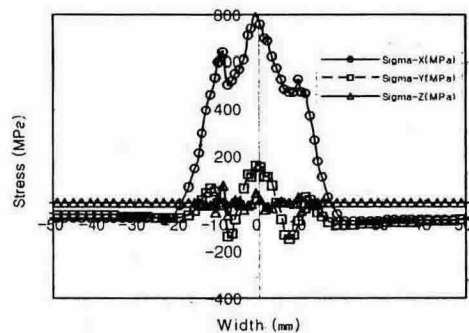


Fig.4 Distribution of welding residual stress(SMAW)

한편,  $\sigma_y$ 의 경우 동일하게 인장성분에서 압축성분으로 변화하고 있으며 그 크기가  $\sigma_x$ 보다 작은 이유는 폭 방향의 구속도가 용접선 길이방향의 구속도보다 작은데 기인한 것으로 사료 된다. 한편 레이저 용접부의 잔류응력 분포 특성을 보면 응력 각 성분의 최고값은 SMAW 용접부 특성과 거의 동일하게 나타나나 그 분포 영역대가 레이저 용접의 특성으로 좁게 나타남을 알

수 있으며 차이점으로는 폭방향 잔류응력인  $\sigma_y$ 의 분포 양상이 반대(압축→인장)로 나타남을 알 수 있었다.

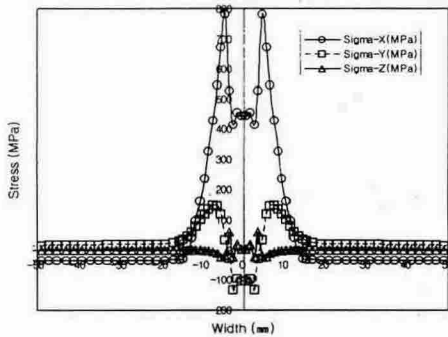
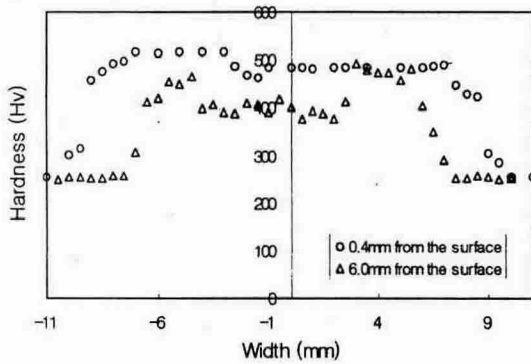


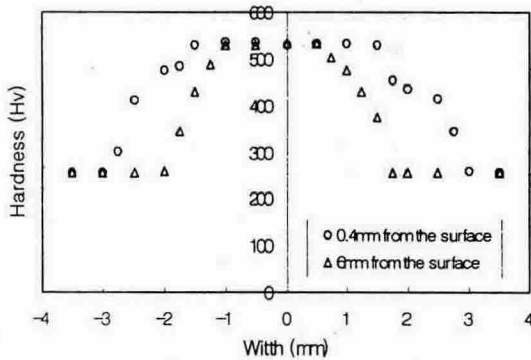
Fig.5 Distribution of welding residual stress(Laser)

### 3.3 Laser 용접부와 SMAW 용접부의 경도 비교

Laser와 SMAW의 용접부의 경도값을 측정하여 Fig.6에 나타내었으며 그 분포 특성을 고찰하여 보면 레이저 용접부에서의 최고 경도 값이 SMAW 용접부에 비해 다소 높게 나타났으나 그 차이는 크지 않은 반면에 SMAW 용접부에서는 용착금속량과 열영향부의 크기로 인해 최고 경도값의 분포 영역대가 넓게 형성되고 있음을 확인하였다.



(a) SMAW



(b) CO<sub>2</sub> Laser

Fig.6 Result of Hardness measurement

## 4. 결 론

이상에서 보인 2.25Cr-1Mo 강에 대한 수동 피복아크 용접법(SMAW) 및 CO<sub>2</sub> 레이저 용접부의 용접 열 분포 및 잔류응력 분포 특성과 경도 측정값을 종합적으로 고찰해보면 레이저 용접의 경우가 수동피복아크 용접 공정에 비해 좁고 균일한 열영향부로 인해 잔류응력의 형성 영역이 좁고 균일하게 형성되며 경도 분포 특성에 있어서도 잔류응력 분포 특성과 마찬가지로 레이저 용접부가 장점을 가짐을 알 수 있었다. 더불어 용접시공 측면에서도 pass수 감소로 인한 공수절감과 품질향상을 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 2003년도 원자력연구개발 증장기사업의 위탁과제(과제번호:M20314010001-03A0214-00314)의 일환으로 수행되어졌으며, 한국원자력 연구소와 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- E. A. Brandes and G. B. Brook (1992). "Smithells metal reference book: 7th ed.", Butterworth-Heinemann
- David R. Lide and H. P. R. Frederikse (1995-1996). "CRC Handbook of Chemistry and Physics: CRC press(National Institute of Standards and Technology", 76th Edition
- A. Kaplan (1994). "A model of deep penetration laser welding based on calculation of the keyhole profile", T. Phys. D:Appl. Phys., Vol.27, pp.1805~1814
- K.W.Carlson (1985). "The role of heat input in deep penetration laser welding." ICALEO, pp.49~57,
- M.R.FREWIN, D.A.SCOTT (1999). "Finite Element Model of Pulsed Laser Welding", AWS, Welding Journal, pp.15-s~22-s,
- C. Carmignani, R. Mares, G. Toselli (1999). "Transient finite element analysis of deep penetration laser welding process in a singlepass butt-welded thick plate", Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 179, pp.197-214.
- H.-S.Bang and J.-M. Kim (2001). "Proposed specimen for reheating cracking susceptibility and mechanical behaviour assessment in 2.25Cr-1Mo steel pressure weld joint", Science and Technology of Welding and Joining, Vol.6, No.5, pp.293-299.
- 방한서, 김종명 (2000). "24Cr-1Mo강 압력용기 Nozzle 용접 이음부의 재열균열에 관한 수치해석적 연구", 한국해양 공학회지, 제14권, 제 1호, pp.88-94
- 방한서, 김영표, 김형, 유석민 (2003). "수치해석에 의한 24Cr-1Mo강 CO<sub>2</sub> 레이저 용접부의 잔류응력 분포 특성에 관한 연구", 한국해양공학회 춘계학술대회논문집, pp.248-278.