

## 용접 공정에 따른 2.25Cr-1Mo 강 용접이음부의 신뢰성에 관한 연구

### A study on the reliability of 2.25Cr-1Mo steel welds for various welding processes

김 영표\*, 방 한서\*\*, 주 성민\*, Rajesh S.R.\*, 윤 덕영\*\*

\* 조선대학교 일반대학원 선박해양공학과

\*\* 조선대학교 공과대학 항공·조선공학부

### 1. 서 론

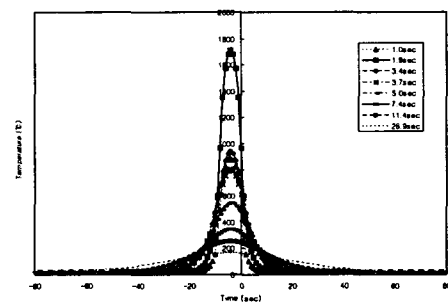
최근 기술 발달에 따른 레이저 용접장비의 고출력화로 후판 용접이 가능해짐에 따라 레이저 용접의 산업적용이 확대되어지고 있다. 레이저 용접은 또 다른 고밀도 고에너지 용접법인 전자빔 용접과는 달리 대기 중 작업이 가능하며, 정밀한 용접과 더불어 재질열화를 최소화 할 수 있는 등의 장점을 가지고 있다. 한편 본 연구의 대상인 발전설비용 증고온 고압배관재료인 2.25Cr-1Mo 강은 그 특성상 건전하며 우수한 용접부가 요구되어지며 기존의 경우 용접을 위해 SAW, SMAW, GTAW, FCAW 등의 아크 용접이 적용되어져 왔다. 그러나 최근 일본 등의 선진국에서 전자빔 용접에 의한 2.25Cr-1Mo 강의 용접사례가 보고되어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 2.25Cr-1Mo 강에 대한 고품질의 레이저 용접공정의 적용 가능성을 검토하기 위해, 기존의 아크(SMAW-11Pass 및 FCAW-4Pass) 용접부 및 레이저 용접부(1Pass)의 역학적 특성(용접 열영향, 잔류응력, 인성, 인장강도 등)을 수치해석적인 방법과 실험적인 방법을 통하여 파악 하고자 하였다.

### 2. 열·탄소성 해석

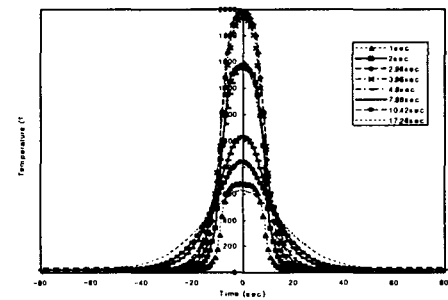
우선 각 용접부의 용접열분포 특성과 용접잔류응력의 분포특성을 위해 열·탄소성 수치해석을 실시하였다.

#### 2.1 용접부의 용접열분포 특성

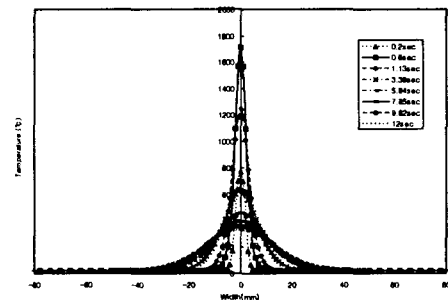
용접열전도 해석을 통하여 얻은 각 용접부의 열 이력곡선을 Fig.1에 나타내었다.



(a) SMAW weldment(10 pass)



(b) FCAW weldment (3 pass)



(c) CO<sub>2</sub> Laser weldment

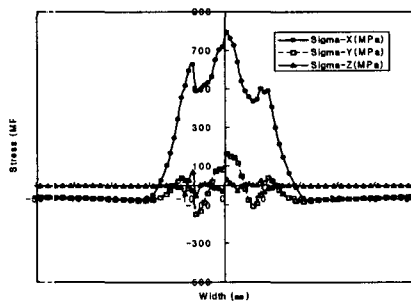
Fig.1 Thermal history in weldment(11mm)

각 용접부의 열 이력 곡선의 특징을 보면 CO<sub>2</sub> 레이저 용접의 경우가 냉각구배가 가장 크며 열 영향부가 적게 형성됨을 알 수 있으며, FCAW 용접의 경우가 가장 입열이 많아 열 영향부가

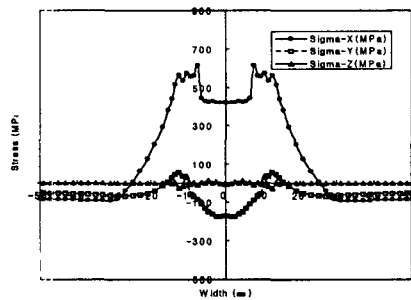
커짐을 예측할 수 있었다.

### 2.2 용접 잔류응력 분포

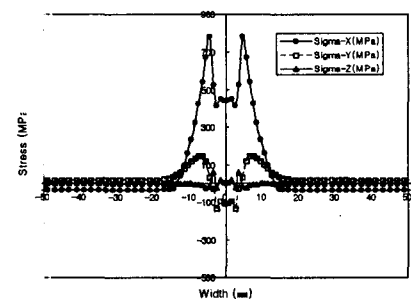
각 용접부의 용접잔류응력 분포 상태를 보면 SMAW 경우 용착금속의 비대칭적 적층으로 인해 잔류응력 분포 역시 비대칭적으로 나타났으며 그 크기는 용접선 길이 방향 잔류응력을 기준으로 할 때 FCAW 용접부의 잔류응력 크기가 나머지 두 용접법에 비해 작게 나타났으며 이는 입열량의 크기에 기인한 것으로 사료된다.



(a) SMAW weldment



(b) FCAW weldment



(c) CO<sub>2</sub> Laser weldment

Fig.2 Welding residual stress distribution in weldment (Z=11.5mm)

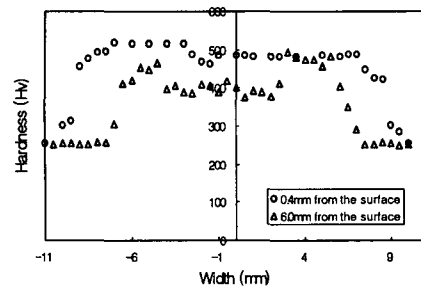
또한, CO<sub>2</sub> 레이저 용접의 경우는 잔류응력의 최고영역대가 타 용접법에 비해 작게 나타남을 예측할 수 있었으며 이는 좁은 열영향부에 기인

된 것으로 생각되어진다.

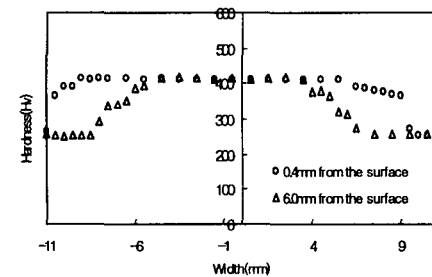
### 3. 용접이음부의 기계적 강도

#### 3.1 용접부 경도 시험

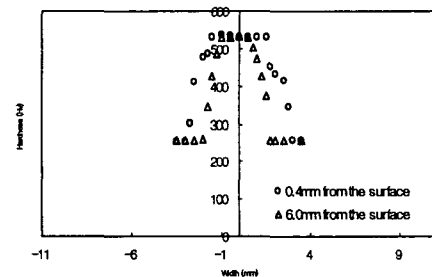
각 용접부의 경도 측정값을 Fig.3에 나타내었으며 그 결과가 용접열전도해석의 결과와 일치함을 알 수 있었다.



(a) SMAW weldment



(b) FCAW weldment



(c) CO<sub>2</sub> Laser weldment

Fig.3 Hardness distribution in each weld

#### 3.2 용접부의 저온인성 파괴 시험

각 용접법에 따른 저온 파괴 평가를 위하여 표준 샤르피(Charpy) 시험편을 제작하여 0℃와 -20℃에서 시험을 실시하였으며 그 결과를 보면

0℃에서의 충격흡수에너지는 SMAW와 FCAW에서는 각기 47J과 41J을 나타낸 반면 CO<sub>2</sub> 레이저 용접시험편에서는 254J을 나타냈으며, -20℃에서는 각 시편 모두 약 40~50%의 충격흡수에너지 저하를 나타내었다. 이 때 SMAW와 FCAW 시험편보다 CO<sub>2</sub> 레이저 용접시험편에서의 충격흡수 에너지가 크게 나타난 이유는 SMAW와 FCAW 시험편에서는 파괴 경로가 용착금속부로 이어진데 반해 CO<sub>2</sub> 레이저 용접시험편에서는 파괴 경로가 용착금속부에서 모재로 그 경로가 변화하는 현상(FPD: Fracture Path Deviation)이 나타났기 때문이며, 이는 레이저 용접부에서의 용착금속부와 열영향부의 폭이 좁은데 기인하는 레이저 용접의 특성으로 생각된다.

### 3.3 굽힘 및 상온 인장시험

SMAW, FCAW 및 CO<sub>2</sub> 레이저 용접법에 의해 제작된 시편 모두에서 굽힘 시험에 의한 표면 균열은 관찰되어지지 않았으며, 인장시험에서는 모두 용접부 모재에서 시편이 파단되어지는 결과를 얻을 수 있었다.

## 4. 결 론

본 연구를 통하여 중고온용 내열강인 2.25Cr-1Mo 강의 용접에 있어서 역학적 (용접 열영향, 잔류응력, 인성 및 인장강도 등) 특성 및 시공 측면에서 레이저 용접법이 기존의 아크 용접법에 비해 장점을 가질 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 후 기

본 연구 2004년도 원자력연구개발 중장기사업의 위탁과제의 일환으로 수행되어졌으며, 한국 원자력연구소의 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Sung Ho Kim, Woo Seog Ryu, and Il Hiun Kuk: Microstructure and Mechanical Properties of Cr-Mo Steels for Nuclear Industry Application, Journal of the Korean Nuclear Society, Vol.31, No.6, 561-571 (1999)
2. H.-S.Bang and J.-M. Kim: 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, 2001, Vol.6, No.5, pp.293-299.
3. 방한서, 김종명: 24Cr-1Mo강 압력용기 Nozzle 용접 이음부의 재열균열에 관한 수치해석적 연구. 한국해양 공학회지, 제 14권, 제 1호, pp.88-94, 2000
4. E. A. Brandes and G. B. Brook: Smithells metal reference book, 7th ed., Butterworth-Heinemann (1992)
5. David R. Lide and H. P. R. Frederikse: CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC press(National Institute of Standards and Technology)", 76th Edition (1995-1996)