

# 와이어 송급시스템을 이용한 고출력 CO<sub>2</sub> 레이저 용접기술

## High Power CO<sub>2</sub> Laser Welding using Wire Feeding System

현대중공업(주) 산업기술연구소 박영수, 이윤식, 김형식

### I. 서론

레이저 가공기술은 고밀도의 열원을 이용한 가공법으로 타 공정에 비해 입열량이 적어 금속 가공시 열영향부 및 열변형이 적다는 장점이 있다<sup>1)</sup>. 이에 따라 두께 10mm 내외의 강판을 사용하는 강 구조물 예로 선박의 선실 제작시 발생하는 용접변형을 최소화할 수 있어 레이저 용접의 응용가능성이 매우 높다. 그러나 실제 현장에서는 긴 용접장에서 발생하는 부재간의 간극으로 양호한 용접부를 얻을 수 없으며 또한 발전기의 출력한계로 용접두께의 제한 등 문제점을 가지고 있다. 현재 국내에 보급된 레이저 용접시스템의 발전기 출력은 대개 5kW 이하이므로 두께 10mm 내외의 강판을 한번에 즉, key hole 용접 혹은 제살 용접을 수행할 수 없는 현실이다. 이와 같은 문제점을 개선하고자 맞대기 용접시 와이어를 첨가하여 간격을 채워주는 기법과 후판의 용접시 Y개선을 이용하여 초층은 레이저 용접으로 후행은 GMAW 기법으로 실시하는 방법 등을 적용하기 위한 연구가 각국에서 수행중이다<sup>2)</sup>. 특히 용가재 첨가형 레이저 용접은 맞대기 용접에서 허용간극을 증가시킬 수 있고 multi-pass 기법을 통해 용접하고자 하는 강재의 두께를 증가시키면서 레이저 용접의 저입열 특성을 가지고 있어 용접부의 협소화 및 변형저감 차원의 장점이 많아 지속적인 연구가 필요하다<sup>3)4)5)</sup>. 제살 용접시 용입 깊이는 레이저의 출력과 이송속도에 크게 영향을 받지만 용가재를 사용한 경우에는 용가재의 송급속도와 출력에 따라 용착량이 결정된다.

본 연구에서는 레이저 용접의 현장적용성을 증대시키기 위하여 와이어 송급시스템을 개발하고 개발된 시스템을 이용하여 조선용 두께 6.5mm의 맞대기 용접 기법 및 두께 12mm 강재의 용가재 첨가형 레이저 기법을 정립하고자 하였다. 이를 위하여 용접부의 건전성에 미치는 용접속도, 출력, 용가재 송급속도 및 개선형상 등을 변수로 하여 용접기법을 정립하고자 하였다.

### II. 실험방법

용접공정에 사용한 발전기는 Rofin-Sinar의 RS850I 모델로 최대출력 5kW, 다중모드(multi-mode)인 출력분포를 갖는 횡류형 CO<sub>2</sub>레이저를 사용하였다. 레이저 용접시스템은 테이블 이송형으로 빔 직경의 변화 없이 안정적으로 집속되고 집속광학계는 초점거리 7.5"의 반사형광학계를 사용했다. 또한 용접시 발생한 플라즈마의 제어와 용접부 shielding을 위해 용접헤드 후면에서 노즐을 통해 보호가스를 취입시키는 방법을 사용하였다.

레이저용접은 광학기구에 의해 집속된 빔을 이용하기 때문에 조사되는 부분의 정확한 fit up이 이루어져야 하며 허용되는 간극 이상이 존재하면 에너지 손실이 발생하여 효율이 낮아지고 또한 맞닿는 부분이 용융되었다 해도 용융금속이 간극을 채우고 중력에 의해 흘러내려 표면이 함몰되는 등 양호한 비드를 형성할 수 없기 때문에 이를 보완하는 방법의 하나로 그림 1의 와이어 송급시스템을 제작하여 실험하였다.

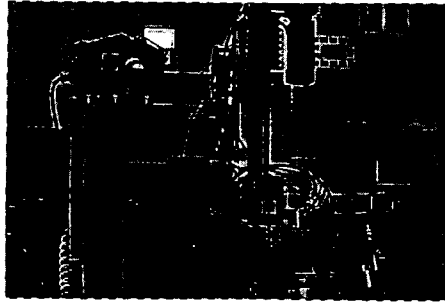


Fig. 1 와이어 송급시스템

와이어 송급시험에 앞서 탄소강 5.0mm와 6.5mm를 모재로 BOP(bead on plate)시험을 통해 수축정도를 확인했으며 실제 간극을 적정하게 넓힌 후 레이저용접을 통해 함몰되지 않은 비드를 형성하는 조건을 알아냈다. 또한 허용간극 및 용접두께를 증가시키기 위해 와이어를 첨가하여 두께 6.5mm 강재의 맞대기용접과 두께 12mm 강재의 Y개선 실험을 수행하였는데 변수로 출력과 이송속도, 와이어 송급속도 등 여러 조건들을 변화시키며 최적의 용접조건을 찾아냈다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1) 탄소강 수축실험 (Shrinkage test)

레이저용접은 접합하려는 두 판재의 간격이 거의 없을 정도로 취부되어야 양호한 용접결과를 얻을 수 있다. 따라서 레이저빔 조사시 용융된 부분이 응고될 때 수축되는 힘에 의해 용융부의 상부비드가 용기되고 또한 중력에 의해 하부로 처지면서 용접비드를 생성하게 된다. 현장에 레이저용접을 적용하기 위해서는 입열이 다른 경우 수축량이 어느 정도인가를 실험적으로 확인하기 위해 시편을 직사각형(150×40mm)으로 밀링 가공하여 용접전에 용접선의 중앙에서 대칭이 되는 부분에 10개의 측정점의 길이를 마이크로미터로 측정하고 용접 후 같은 지점의 길이를 측정하여 어느 정도 수축되었는지 조사하였다.

실험에서 재질 ASTM-A36, 두께 5mm인 판재를 0.16kJ/mm의 입열로 조사한 경우 약 0.084mm, 0.2kJ/mm에서는 0.099mm, 입열을 2.5배 이상 증가시킨 0.52kJ/mm에서는 0.24mm의 수축거리가 측정되었으며 이를 통해 입열량과 수축량이 비례적으로 변함을 알 수 있었다. 또한 두께를 6.5mm로 증가시켜 완전용입 조건인 0.52kJ/mm의 입열량로 조사한 경우 평균 0.2mm의 수축거리가 측정되었다. 표본 실험을 통해 입열에 따른 수축량을 예측할 수 있으므로 와이어의 송급 없이 레이저 용접이 가능한 허용간극을 알 수 있었다.

#### 2) 허용간극 실험

BOP상태로 수축실험을 한 내용과 허용간극의 실험 결과를 비교하기 위해 각 시편에 대하여 간극을 0, 0.1, 0.2mm로 변화시키며 맞대기 용접 후 단면사진을 관찰하였다. 두께 5mm 강재의 시험에서 입열량을 0.23kJ/mm로 한 경우 간극이 0, 0.1mm에는 간극이상의 수축거리가 가능한 입열을 통해 함몰이 없는 용접부를 얻었고 0.2mm에서는 약간 함몰된 것을 마크로 사진에서 볼 수 있다. 두께 6.5mm의 강재에 대한 실험에서는 간격이 0, 0.1, 0.2mm 모두 양호한 용접부를 얻었는데 BOP의 시험에서 나타난 결과 0.52kJ/mm에서 수축량이 0.2mm정도인 것을 보면 수축된 만큼 간극이 채워진 것을 볼 수 있다. 이상의 실험을 통해 강판의 용접시 입열량에 따라 수축되는

양을 계산하면 용접에 충분한 간극을 예측하여 적용할 수 있다.

### 3) 와이어 송급시스템을 이용한 맞대기 용접

레이저용접을 실제 현장에 적용하기 위해서는 허용간극에 대한 대응력이 있어야 하며 이를 위해 와이어를 첨가하는 방법을 이용했는데 모재는 BOP시험과 같은 재질로 두께가 6.5mm인 시편을 맞대기로 용접했는데 각각의 맞닿는 간격은 0.5, 0.8, 1.1mm로 한 후 와이어가 용융될 수 있는 최적 출력과 이송속도로 실험하였다. 실험결과 그림 2처럼 0.5와 0.8mm의 간극에서는 상부 비드와 하부비드가 양호하게 형성되었고 1.1mm의 경우 상부비드는 양호하나 와이어가 하부까지 충분히 공급되지 못하여 양호하지 못한 단면을 보였다. 간극이 1.1mm인 경우 와이어가 충분히 용융될 수 있도록 이송속도를 낮출 수 있는데 이는 고속용접의 장점을 얻을 수 없으므로 이송속도를 500mm이상에서 적절한 조건을 찾는 것이 필요하며 이를 통해 최대간극이 0.8mm정도임을 확인하였다.

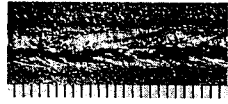



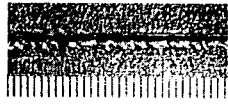




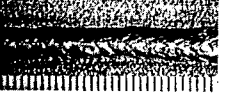


Gap (mm)	Face	Root	단면마크로
0			
0.5			
0.8			
1.1			

Fig. 2 Wire를 이용한 허용간극 시험 (P: 4.25kW, V: 500mm/min)

### 4) 후판 강재의 Multi-pass 레이저 용접

허용된 최대출력 5kW에서 강재의 용접두께를 증가시키기 위해 두께 12mm강재를 모재로 multi pass용접기법을 정립하였다. 특히 송급속도 및 용접속도에 따라 와이어가 충분히 용융되어 개선부를 전부 채우고 약간은 용기되어 블록 비드가 형성되는 조건을 일고자 하였다. 용접부 형상은 25도 V개선을 가진 Y형으로 4mm두께의 루트부분은 밀링가공을 통해 맞닿도록 했으며 초층은 와이어 없이 레이저만으로 후행은 와이어를 송급시켜 개선부를 채우는 방법을 이용하여 12mm 강재를 레이저 용접한 단면을 그림 3에 나타냈다. 마크로 단면에서 보여주듯이 결함이 없는 매우 양호한 용접부를 형성하였으며 상부는 블록비드를 형성하였다.

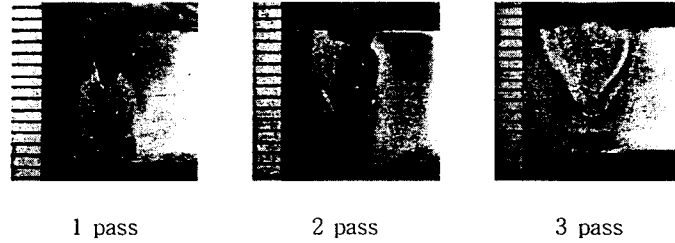


그림 3 두께 12mm 강재의 용가재 첨가형 레이저 용접부 (25°)

#### IV. 결론

레이저 용접시 허용간극 증대와 후판에 대한 적용성을 증대시키기 위하여 와이어 송급시스템을 개발하였고 개발된 시스템을 이용하여 조선용 두께 6.5mm강재의 맞대기 용접시험에서 양호한 표면비드를 얻을 수 있는 간극을 0.8mm정도까지 증가시켰으며, 또한 후판 용접을 위한 multi-pass 기법을 적용하여 두께 12mm 강재에 대한 3pass 용접기법을 정립하였다. 특히 용가재 첨가형 레이저 용접기법은 간극에 대한 대응력과 적용 강재의 두께를 향상시킬 수 있어 레이저 용접의 중공업 분야 적용성을 높일 수 있음을 확인하였다.

#### V. 참고문헌

1. David Farson and Ray Duhamel : Taking advantage of laser welding, Industrial Laser Review, pp.7-10,(1997)
2. N. Abe : Combination mechanism of high speed leading path Laser-Arc combination welding, Trans. of JWRI, Vol. 27, No.2, pp.7-11,(1998)
3. R. H. Phillips and E. A. Metzbower : Laser beam welding of HY80 and HY 100 steels using hot welding wire addition, Welding Journal, pp.201-208,(1992)
4. A. S. Salminen, Z. Sun : Current status of laser welding with wire feed, Materials and Manufacturing Process Vol.12, No.5, pp.759-777,(1997)
5. A. S. Salminen, V. P. Kujanpaa and T. J. I. Moisio : Interactions between laser beam and filler metal, Welding Journal, pp.9-13,(1996)