

# 600MPa급 세립형 고강도 강 고속 용접부의 특성

## Characteristics of a Fine Grained Steel Weldment Deposited with High Speed

윤 중근\*, 박 태동, 김 광수  
현대중공업(주) 산업기술연구소

### 1. 서 론

강재의 미세 조직이 미세해질 수록 강재의 강도는 증가될 뿐 아니라 강재의 인성 특히 DBTT를 크게 저하시킬 수 있다. 이를 이용하여 개발하고 있는 강재가 차세대 구조용 고강도 강 즉, 세립형 구조용 고강도 강(이하, 세립강)이다. 현재에는 포항제철(주)에서 미세 조직을 평균  $5\mu\text{m}$ 으로 제어함으로써 인장 강도 600MPa을 확보한 세립강을 두께 20mm 까지 개발한 상태이다. 전년도 연구결과에서 보고하였듯이, 세립강의 큰 특성은 용접에 의하여 열영향부에 연화 현상이 발생하는 것으로 이는 용접부의 인장강도 약화를 유발하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 저입열 용접기법의 시공이 필요하다. 저입열 용접시공은 생산성이 열등하여 제작 공기나 단가의 상승을 유발하며 경우에 따라 용접부에 취약한 조직을 형성하여 충격인성을 악화시킬 수 있어 용접 입열의 무조건적 저하는 바람직하지 않다. 따라서, 높은 생산성을 유지하면서 품질이 우수한 세립강 용접부를 확보할 수 있는 용접 기술의 개발은 매우 중요하다.

본 연구에서는 저입열 용접 기법의 생산성을 향상시키고자 다전극 고속용접 기법을 개발하고자 하였다. 이에 따라 먼저 고속용접을 수행할 수 있는 5전극 SAW와 양면 3전극 FCAW 시스템을 개발하였으며, 제반 용접시험을 토대로 다전극 고속 용접기법을 정립하였다. 이를 두께 20mm 세립강에 적용함으로써 용접부에서 연화현상을 억제 혹은 최소화하고자 하였다. 물성 측면에서는 용접부의 인장 강도 600 MPa 및  $-0^{\circ}\text{C}$ 에서 충격 흡수에너지 47J 이상을 확보할 수 있는 분당 1.2m의 고속 SAW 및 FCAW 기술을 정립하고자 하였다.

### 2. 고속 다전극 SAW/FCAW 시스템

다전극 고속 용접기법을 개발하고자 그림 1에서 보여주는 바와 같이 최대 3m/min.의 고속 용접용 5전극 SAW 및 양면 3전극 FCAW 겸용 용접 장비를 개발하였다. 본 장비는 SAW 5전극 및 FCAW 6전극을 동시 용접할 수 있는 시스템이며, SAW의 경우 용접선 자동 추적을 위한 시각 센서 및 용접 조건 자동 제어를 위한 디지털 포텐쇼메터를 내장하고 있다. 양면 3전극 FCAW의 경우 기계적 용접선 추적 장치가 있으며, 각 3전극씩 필렛 용접부 양면을 동시에 용접할 수 있다. 5전극 SAW의 주 용도는 맞대기 용접용이며, 양면 3전극 FCAW는 필렛 용접이 주 용도이나 맞대기 용접에도 적용 가능하도록 설계 제작되어 있다. 용접 시험 데이터의 신뢰성 확보를 위하여 용접선 자동 추적 장치, 용접 데이터 로깅(Logging) 및 데이터 자동 분석, 운전의 편의성을 위하여 윈터치로 자동 기능 등이 있다.

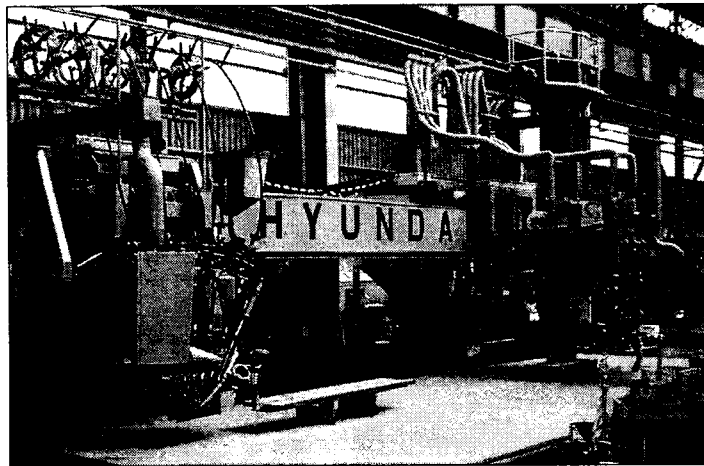


Fig.1 Multi-Electrodes Adaptive Automatic SAW/FCAW System

### 3. 세립강의 고속 다전극 FCA/SA 용접부 특성

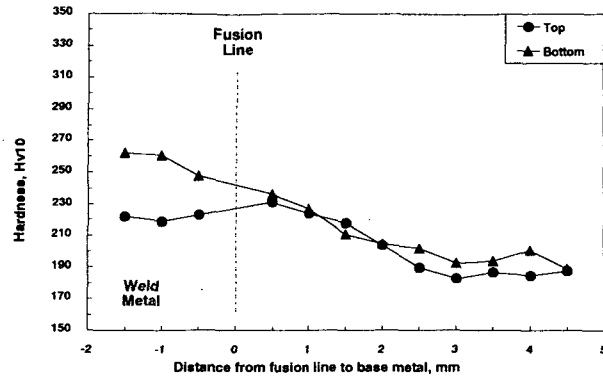
#### 3.1 실험방법

본 연구에 사용된 세립강은 두께 20mm로, 페라이트 결정립 크기는 주로 3~7 $\mu$ m (평균 5 $\mu$ m) 이었다. 20mm 두께 세립강의 인장 강도는 약 654 MPa, 항복강도는 약 383MPa 이었다. 고속 다전극 SAW/FCAW 시스템을 이용하여 분당 1.2m의 FCA와 SA 용접을 20mm 두께 세립강에 수행하였다. 맞대기 용접부 개선은 각 60도인 양면 Y-개선이었다. FCAW 기법의 경우, 전극은 두 개로 하였으며, 전극 별 전압 29와 34V, 전류 300과 340A 조건이었으며, 입열량은 각 전극의 입열량을 합산한 10kJ/cm 이었다. SAW의 경우, 3전극을 사용하였는데 용접조건은 30 - 32V, 450A 및 용접 속도 1200 mm/min. 이었으며 투입된 입열량은 약 21kJ/cm 이었다. 용접부 특성은 상면 및 이면에서의 경도 시험과 횡방향 용접부 인장 시험 및 저온에서의 충격 시험 등으로 평가하였다.

#### 3.2 고속 다전극 FCA 및 SA 용접부 특성

그림 2 (a)는 분당 1.2m의 속도로 형성된 2전극 FCA 용접부의 경도분포이다. 그림 2에서 보여주듯이 용접 열영향부에는 연화 현상이 발생하지 않았다. 이에 따라 횡방향 인장시험시에도 파단은 모재에서 발생되었다. 20mm 두께 세립강 FCA 용접부의 인장 강도는 637 - 646MPa이었다. 따라서 10kJ/cm의 입열량에서는 20mm 두께 세립강의 용접 열영향부에서는 연화현상을 제어할 수 있다.

그림 2 (b)는 분당 1.2m의 3전극 SA 용접부 (입열량 21kJ/cm) 의 경도분포이다. Fusion line 에서 모재 방향으로 2.5~3.5mm 떨어진 영역에서 연화 현상이 발생하였으며, 열영향부에서 최저 경도 값은 모재대비 약 90% 이다. 이 용접부에 대한 횡방향 인장 시험 결과, 인장 강도는 624, 626MPa 이었으며, 파단은 모재에서 발생되었다. 비록, 용접 열영향부에서의 연화 정도 즉, 모재대비 강도 저하율이 약 10% 이었지만, 주변의 경한 용착금속이나 모재에 의해 연화 영역의 소성변형이 구속(constraint) 되어 모재에서 파단된 것으로 판단된다.



(a)

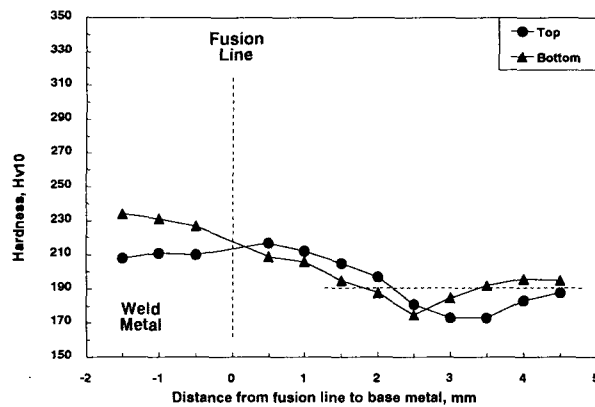


Fig.2 Hardness distribution of 20mm thick fine grained steel : (a) FCA weldment (10kJ/cm, 2 electrodes) and (b) SA weldment (21kJ/cm, 3 electrodes )

#### 4. 결론

- 1) 최대 3m/min.의 고속 용접이 가능한 5전극 SAW 및 양면 3전극 FCAW 겸용 용접 장비를 개발하였다.
- 2) 용접속도 분당 1.2m, 입열량이 약 10kJ/cm 로 적용된 20mm 두께 세립강 2전극 FCA 용접부에서는 연화 현상이 발생하지 않았다. 이에 따라 용접부 인장시험시 파단은 모재에서 발생되었으며, 인장 강도는 637 - 646MPa이었다.
- 3) 입열량이 약 21kJ/cm 인 세립강 3전극 SA 용접부의 경우, 열영향부의 연화가 발생하였으며 최저 경도 값은 모재대비 약 90% 이었다. 그러나 용접부 인장시험시 파단은 모재에서 발생되었으며, 인장 강도는 약 625 MPa이었다.