

와이드 루트 갭 조건을 가진 맞대기 조인트의 용접 시공법 연구

A Study on Welding Process and Quality for Butt Joint with Wide Root Opening

신 동진, 장 태원, 윤 동렬, 김 혁주, 박 지현

삼성중공업 생산기술연구소 용접연구파트

1. 서론

최근 해양 구조물(TLP, Drilling Rig, FPSO, Drill Ship Top Side 등)의 수요가 증가함에 따라 용접 시공법의 개선 및 개발이 많이 요구되고 있다. 구조물 용접 중 상당한 부분을 차지하는 맞대기 조인트를 원활히 용접하기 위해서는 적정 루트 갭(또는 Root opening) 조건이 형성되어야 한다.

그러나 설계 중 오류, 절단 불량 및 제작 정도 등의 문제로 인해 불가피하게 적정 루트 갭을 초과하는 Wide gap이 형성될 수 있다.

Wide gap이 발생되었을 경우 기존의 작업 절차는 모재를 육성(Buttering)한 후 맞대기 용접을 수행하는 방법이 일반적이었다. 이 같은 Buttering 시공법의 경우 다양한 작업 단계(wide gap에 대한 선주 보고 및 reporting, buttering 시공, bead grinding, re-beveling)를 필요로 하여 생산부서 공정에 많은 영향을 준다.

본 연구에서는 Wide Gap이 발생되었을 경우 기존의 Buttering 시공법이 아닌 폭이 넓은 세라믹 백킹재를 이용하여 Wide Gap 상태에서 직접 용접을 수행하는 방법을 개발하기 위함이다.

2. 본론

Wide gap 상태에서 직접 용접을 수행하는 시공법과 모재를 적정 Gap까지 육성 후 용접하는

2가지 시공법에 대한 상호 비교를 위해 각 자세(아래보기, 수평, 수직 상향)에 대해서 검토하였다.

2.1 시험 준비

적용된 모재는 최근 해양부문에 많이 사용 중인 API 2W Gr.50(TMCP)을 이용하였으며, 두께는 용접시공 중인 시험에서 많이 이용하는 25mm를 적용하였다. 용접재료는 AWS E81T1-K2를 이용하여 시험편을 제작 하였다.

2가지 시공법에 대한 시험편 형상 및 용접 순서는 아래 그림 1에 나타내었다.

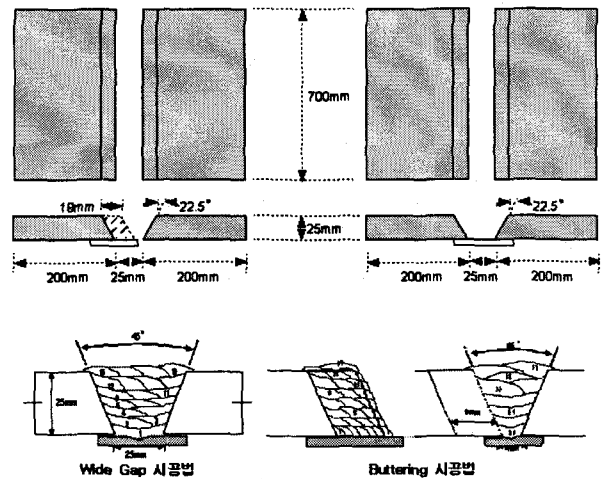


그림 1 시험편 형상, 용접 순서(아래보기 경우)

2.2 시험 결과

Wide gap 상태에서 직접 용접을 수행한 시험편과 육성 용접 후 용접을 수행한 시험편에 대해서 각각 기계적 특성 시험, 잔류응력 분포 측정 및 피로시험을 수행하여 그 결과를 비교 검토하였다.

2.2.1 기계적 특성 시험 결과

1) 경도 시험 결과

경도 시험은 Vickers (10kg)를 이용하여 전/후면에 대해서 수행하였다. 해양 Project 경우 일반적인 허용 기준은 350Hv이며, 시험 결과 모든 자세에 대해서 양호한 값(240Hv 이하)을 나타내었다. 또한 그림 2와 같이 2가지 시공법에 의한 경도값의 차이는 없음을 확인하였다.

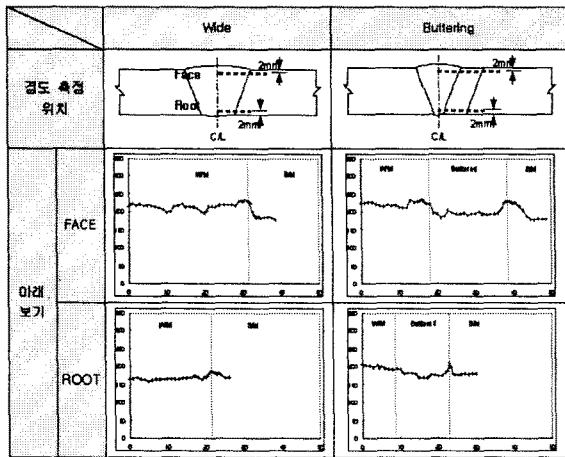


그림 2 경도 profile (아래보기 경우)

2) 충격인성 시험 결과

충격인성은 Charpy V-Notch(2mm) Impact 10×10mm 시험편을 이용하여 그림 3와 같이 각 자세(Weld metal, Buttered zone, Heat affected zone)에 대해서 실시하였으며, 일반적인 해양 project 기준(Avg. 40J at -40°C)을 모두 만족하였다.

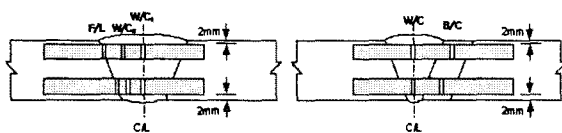


그림 3 CVN 시험편 Notch 위치

그림 4는 충격인성 값이 가장 취약하다고 예상되는 Weld Metal Center에서 각 시험 온도 (-20~-60°C)에 따른 충격인성값의 추이를 조사하였으며, 최소 -50°C까지는 해양 project 기준을 만족하였다.

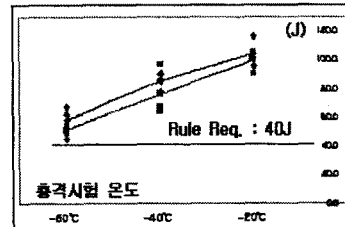


그림 4 온도에 따른 CVN값

2.2.2 잔류응력 측정 결과

아래보기 및 수직 상향 용접자세에 대한 잔류응력을 2가지 시공법에 대해서 각각 측정하였으며, M&M사 (Micro Measurement Co., USA)의 HDM(Hole Drilling Method) 장비를 이용하였다. 관련 규격은 ASTM 837-01 "Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gage Method"를 적용하여 용접선 길이 방향의 잔류응력을 폭 방향에 대해서 측정하였다. 측정 전 용접비드는 제거하였으며, 제거 시 소성가공 영향을 최소화하기 위해 Grinder 작업 후 Sand-Paper (#100~#800)로 연마하였다. 그림 5은 잔류응력 측정 위치 및 형상을 나타내고 있다.

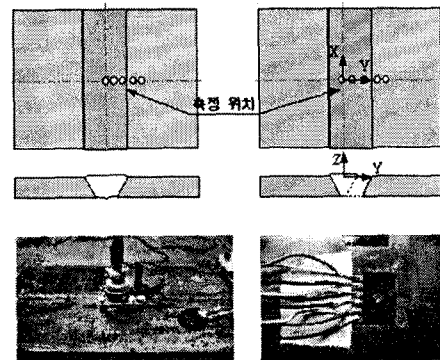


그림 5 잔류응력 측정 위치 및 형상

그림 6은 실제 측정된 잔류응력 결과를 검증하기 위해 FEM 열응력 해석을 함께 수행하였다.

사용된 Tool은 MARC 2005, 2-D로 해석하였으며 시험편 치수, 용접예열, 층간온도, 각 Pass간 형상은 실제 용접시험편과 동일한 조건을 이용하였다.

잔류응력 측정과 해석 결과는 유사한 경향성을 나타내었으며, 2가지 시공법에 대한 잔류응력 분포 차이는 거의 발생하지 않았다.

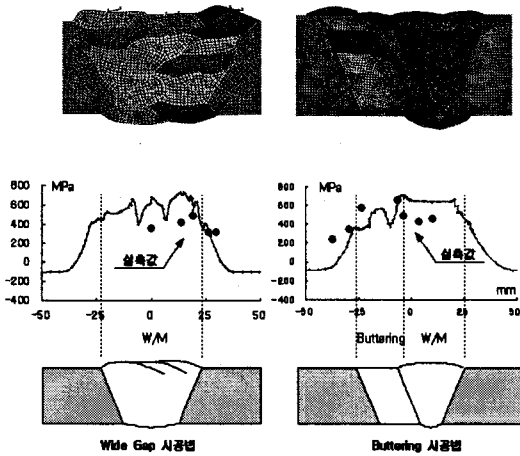


그림 6 FEM 해석 결과

2.2.3 피로 시험 결과

2가지 시공법(Buttering과 Wide Gap 직접 용접)으로 제작된 As welded 상태의 피로시험편을 이용하여 피로강도 특성을 비교하였으며, 관련 Code에서 요구하는 최소 피로강도 만족 여부를 검토하였다. 그림 7은 피로시험편 형상, 치수 및 시험편 가공 위치를 나타내었다.

그림 8은 피로시험 결과를 관련 Code (AWS, DNV Off-shore, API)와 비교하였으며, 2가지의 시공 방법에 관계없이 모든 시험편이 피로강도 최소 선도를 충분히 만족하였다.

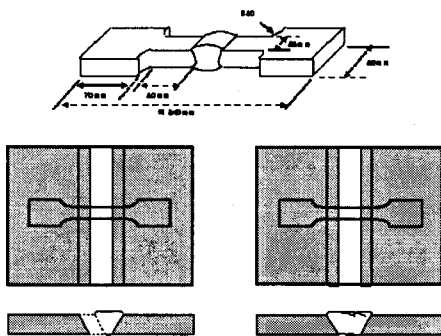


그림 7 피로시험편 형상 및 치수

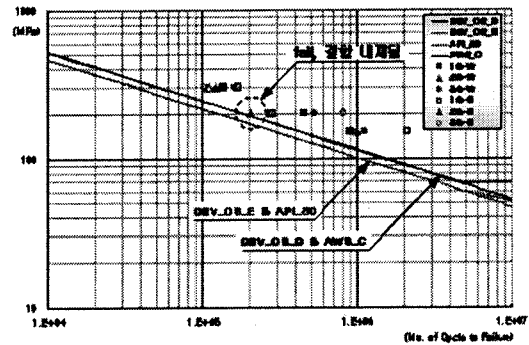


그림 8 피로시험 결과(AWS, DNV, API)

4. 결 론

첫째, Wide Gap 상태에서 직접 용접 가능한 용접 시공 조건을 개발하여 해양 project에서 요구하는 모든 물리적 특성을 만족하였다.

둘째, 두 가지의 시공법에 대한 잔류응력 실측, FEM 열응력 해석 및 피로강도 시험을 통해 Buttering 시공법과 Wide Gap 상태에서 직접 용접하는 시공법의 차이는 없음을 증명하였다.

참고문헌

1. Heat Effects of Welding, Springer-Verlag, 1992
2. Analysis of Welded Structures, MIT, 1980
3. Fatigue Strength Analysis of Off-shore Steel Structures, DNV, 2001
4. AWS D1.1 Structural Welding Code, AWS, 2004
5. American Petroleum Institute Recommend Practice 579, API, 2000