2004년도 추계 학술발표대회 발표논문, 2004년 11월, 천안

HR Coil재 Box형 용접구조물의 피로강도에 관한 연구

Fatigue Strength of Box Type Weld Structure With HR Coil

장용원*, 강 성원*, 김 명현*, 이 진우**

* 부산대학교 조선해양공학과

** 볼보건설기계코리아(주)

1. 서 론

건설기계 장비를 비롯한 각종 강구조물은 대부분 용접구조물이며, 구조물 대형화 추세와 함께 다양한 사용조건 하에서도 구조물의 충분한 내구성 및 신뢰성 확보를 필요로 하고 있다. 동시에 작업능률 및 경제성의 향상을 위해서는 구조경량화가 필수적으로 요구되고 있다. 특히 파손이 일어나기 쉬운 용접 접합부에 대하여 파손을 방지하기 위한 합리적인 구조설계 및 용접 기술의 개발과 함께 보다 정밀한 용접부 응력해석 및 강도 평가법의 개발과 용접결함이 발생하지 않는 정밀 용접시공법의 확립이 필요하다.

본 연구에서는 굴삭기의 주요 구조물 등에서 보이는 Box형 용접 판구조물을 대상으로 국내외적으로 심각한 강재의 자재수급 난 발생으로 인하여 후판재(SWS50A-M1)을 대체하여 열연 코일재(SM490A)로 사용하기 위한 피로수명평가 및 압연방향에 대한 Transverse(횡)/Longitudinal(종) Impact Value의 충격치로 나타난 이방성(Fig. 1)과 피로수명 사이의 연관성을 규명하기 위한 실험적 연구를 수행하였다.

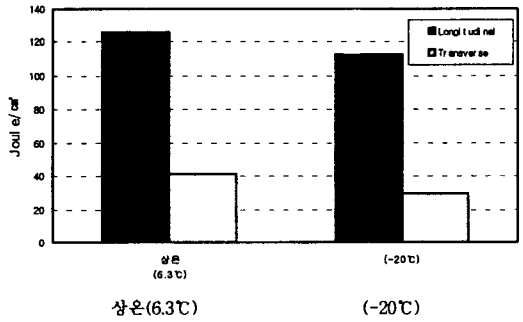


Fig. 1 Impact value of HR coil(SM 490A)

2. 피로시험 방법

시험편 종류는 열연 코일재(SM490A)와 후판재(SWS50A-M1)에 대하여, 시험편 채취방향으로 횡방향은 각각 2개의 시험편, 종방향은 각각 1개의 시험편, 총 6개의 시험편에 대하여 4점 굽힘 피로시험을 실시하였다. Fig. 2과 같이 시험편 형상은 Box형 구조이며, 용접방법은 GMAW(gas metal arc welding)로 측면 필릿 용접 이음을 적용하여 제작하였다.

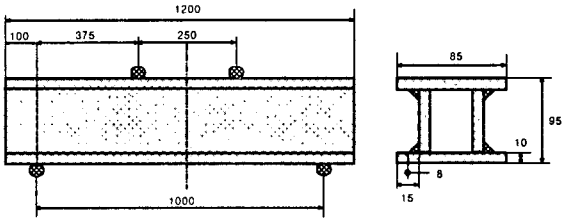


Fig. 2 Dimensions and Shape of test specimen[unit(mm)]

피로시험은 하중제어 방식으로 최대하중 P_{max} =17tonf으로 동일하게 하였고 응력비(R)는 0.1, 반복하중 파형은 정현파, 반복속도는 3Hz로 실시하였으며, 시험편의 변형으로 인하여 시험편에 편심하중이 작용하는 것을 방지하기 위하여 Fig. 3와 같이 시험편에 1축 5mm strain gauge를 부착하여 2tonf에서 17tonf까지 단계적으로 정적하중을 부하하면서 strain값을 측정하였다. 좌, 우 및 폭방향 대칭점의 strain값이 평형을 유지하도록 시험편과 보조판 사이에 liner를 삽입하여 시험부에 순수 굽힘 모우멘트가 작용하도록 조정하였다.

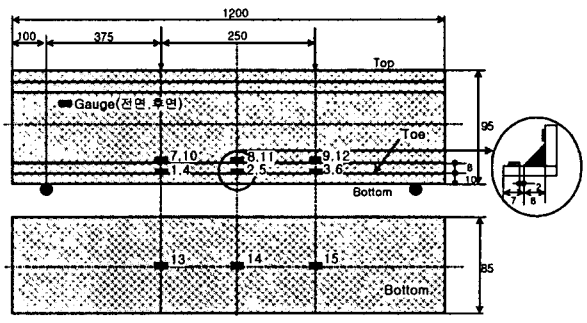


Fig. 3 Schematic for strain gauge placements[unit(mm)]

2.1 유한요소해석

피로시험을 수행하기 전 각 위치별 응력 분포를 확인하기 위하여 상용프로그램인 Ansys를 사용하였고, Element type은 20nodes Solid로 유한요소 해석을 실시하였다. 그리고 Fig. 4에 유한요소 해석 결과를 나타내었다.

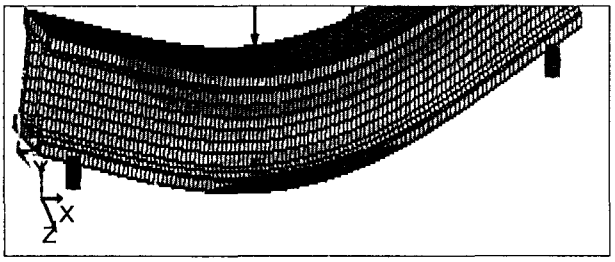


Fig. 4 FEA results (σx-direction stress and deformation)

유한요소해석(FEA) 결과 및 strain gauge로 측정한 응력값을 비교하여 시험편의 Bottom부와 인장측 Toe부의 측정치를 Fig. 5와 6에 나타내었다.

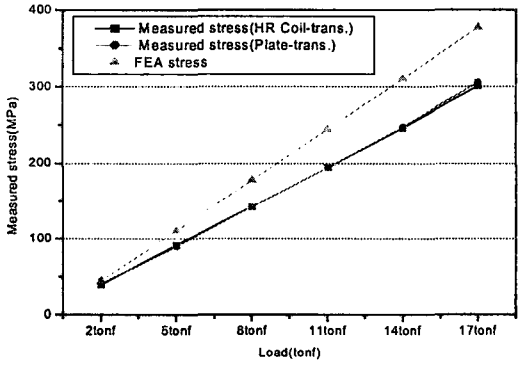


Fig. 5 Comparison between measured and calculated Stresses(bottom)

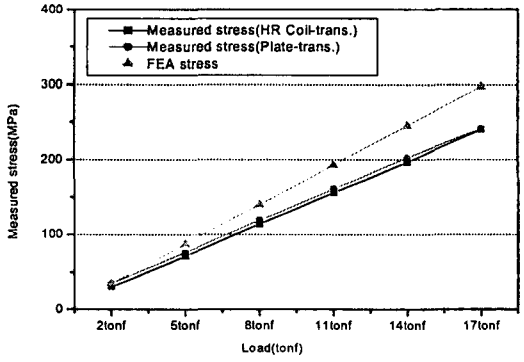


Fig. 6 Comparison between measured and calculated Stresses(weld toe)

저하중에서는 FEA 결과와 시험을 통해 얻은 응력값이 비슷하나, 고하중으로 갈수록 응력값 차이가 큰 것으로 나타났으며, 최대하중 17tonf에서는 FEA결과에 비해 80% 정도의 응력이 시험편에 작용하였다. 이는 시험편 제작 시 발생한 변형으로 인하여 시험편에 편심하중이 작용되었기 때문으로 사료된다.

3. 피로시험 결과

3.1 파단수명 및 파단위치

Fig. 7은 피로시험 후 시험편 종류별 파단수명 및 파단위치를 나타내었다. 파단위치는 최대 굽힘모멘트가 걸리는 중심에서 양방향으로 125mm 지점에서 모두 파단되어 유한요소해석결과로 예측한 파단위치와 동일한 피로시험결과를 나타내었으며, 피로수명은 Web측으로 10mm 균열진전을 기준으로 판단할 때, 후판재(SWS50A-M1)와 열연코일재(SM490A)의 횡방향과 종방향에 따른 각 시험편에 대한 피로수명은 모두 약 1,500,000cycle에서 파단되어 이방성에 대비 피로수명은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

(a)(Coil/Transverse)1,527,980cycle 중심에서 우측 125mm 파단

(b)(Coil/Longitudinal)1,415,300cycle 중심에서 좌측128mm 파단

(c)(Plate/Transverse)1,683,200cycle 중심에서 좌측185mm 파단

(d)(Plate/Longitudinal)1,760,000cycle 중심에서 좌측128mm

Fig. 7 Final failure life and fracture location of each specimen

시험편에서 발생한 피로균열은 모두 인장측 필릿 이음 용접부에서 발생하였고, 피로균열은 수직으로 횡단하여 Web과 Flange를 관통하여 인장응력 방향과 직각방향으로 전파하는 양상을 보였다. Fig. 8에서는 시험편 인장측 용접 토우부 응력범위를 이용한 S-N 선도를 나타내었다. 피로시험 시 균열 발생 위치에 해당하는 시험편 중심에서

폭 방향으로 인장측 플랜지 토우부에 두 군데 부착한 strain gauge를 통해 측정된 응력평균값으로 정의하였다.

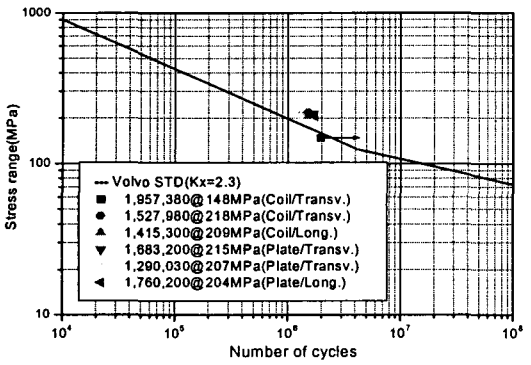
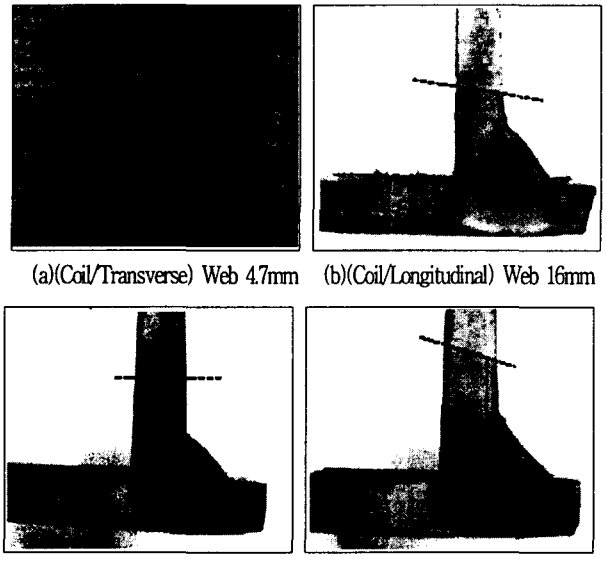


Fig. 8 S-N curve of Stress range

3.2 피로균열진전

Fig. 9에서는 후판재(SWS50A-M1)와 열연 코일재(SM490A)에 대한 횡방향과 종방향의 피로균열진전을 비교하여 나타내었다. 열연 코일재(SM490A)의 횡방향에 경우 초기크랙발생부에서 web방향으로 약 5mm 균열진전 후 급속한 파단에 이르렀고, 종방향은 약 16mm 균열진전 후 급속한 파단에 이르렀습니다. 이는 횡방향에 비해 종방향의 충격치가 20~30% 밖에 되지 않는 것을 감안할 때 균열진전과 연관성이 있는 것으로 사료되어지며, 후판재(SWS50A-M1)의 경우 종방향과 횡방향 모두 거의 같은 균열진전을 보였다.



(a)(Coil/Transverse) Web 4.7mm (b)(Coil/Longitudinal) Web 16mm

(c)(Plate/Transverse) Web 16mm (d)(Plate/Longitudinal) Web 16.7mm

Fig. 9 Comparison between transverse and longitudinal Fatigue crack propagation

4. 결 론

후판재(SWS50A-M1)와 열연 코일재(SM490A)에 대하여 피로수명평가을 실험적으로 규명 하였으며 다음의 결론을 얻었다.

1) 기존 후판재(SWS50A-M1)를 열연 코일재(SM490A)로 대체 하고자 하는 경우, 대등한 피로수명을 가지는 것으로 나타났다.
2) 후판재(SWS50A-M1)와 열연 코일재(SM490A)의 횡방향과 종방향에 따른 각 시험편에 대한 피로수명은 약 1,500,000 cycle에서 파단되어 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.
3) 피로수명을 Web측으로 10mm 균열진전을 기준으로 판단할 때, 횡방향과 종방향의 이방성과 피로수명과의 연관성은 거의 없는 것으로 판단되어진다.
4) 열연 코일재(SM490A)의 횡방향과 종방향 이방성과 균열전파속도를 고려할 때, 횡방향 시험편이 종방향 시험편에 비해 균열이 발생한 이후 보다 급격히 파단에 이르렀으며 이는 약 30%수준의 낮은 충격인성치와 연관이 있는 것으로 사료된다.
5) 시험편에서 발생한 피로균열은 인장측 필렛 이음 용접부에서 모두 발생하였고, 피로균열은 수직으로 횡단하여 web과 flange를 관통하여 인장응력 방향과 직각방향으로 전파하는 양상을 보였다.

참고문헌

1. 엄동석, 강성원, 백점기 : Box형 용접구조의 구조해석 및 피로특성, 부산대학교기계기술연구소, 1991
2. 김종락, 박양희 : SM490A TMC 후판강재의 소재 및 용접부 특성에 관한연구, 한국강구조학회논문지 제15권 3호(통권 64호), 2003. 6
3. 엄동석, 강성원, 이태훈, 이해우, 조수형 : SM490강으로 제작된 T형 편면용접이음재의 굽힘피로강도에 관한 연구, 대한용접학회논문 제16권 제5호, 1998.10