

노후 강교량의 보수·보강 용접부의 피로강도에 대한 실험적 연구

An Experimental Investigation on the Fatigue Strength of Replacement Repair Butt-Welded Joints of Steel Structural after a period of Prolonged Service

장 경호*, 최 의홍**, 이 진형***, 이 진희****, 장 갑철****, 양 영진**

* 중앙대학교 건설환경공학과 교수

** 중앙대학교 토목공학과 석사과정

*** 한국철도기술연구원 기존철도사업단

**** 중앙대학교 토목공학과

ABSTRACT Due to the numerous environmental factors, cracks and corrosion are frequently occurred especially in old steel bridge, which deteriorate the structural integrity; thus bring about the problems of structural safety of the steel bridge. Therefore, repair and reinforcement are required for the damaged structure. the replacement repair welding method is spotlighted for its brilliant features, i.e. it can be achieved without incurring traffic dislocation. the method cuts the damaged parts and replaces them with new steel plate by welding under live loads. However, the mechanical behavior of the welded joints under cyclic loads due to the traffic which passes along bridge is not clarified. In this paper, the fatigue strength of the replacement repair welded joints was investigated in order to improve reliability in the repair welded joints of old steel bridge.

1. 서 론

최근 강구조물의 보수·보강 사례가 증가하고 있다. 강구조물의 보수·보강을 위해서는 기존의 노후판(구판)에 기존강재보다 강도가 높거나 동일한 신판의 접합이 필요하다. 신·구판의 용접 접합을 구조물에 적용하기 위해서는 신판과 구판의 적용성을 명확히 해야 한다.

기용접부의 피로시험을 통하여 신판과 구판의 적용성에 의한 피로강도의 영향을 파악하였다. 또한 본 실험적 연구를 수행함으로써 강구조물의 보수·보강에 있어서의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 신·구판의 용접부 용접성 실험

2.1 사용강재 및 시험체 제작

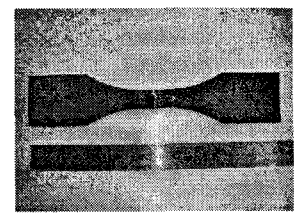
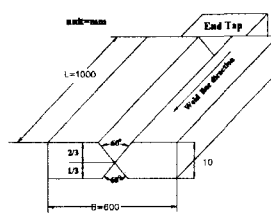
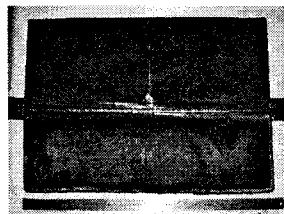
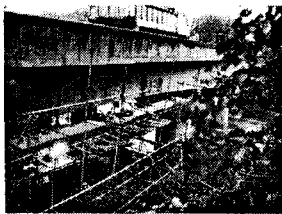


Fig. 1 교량에서 노후강판 채취 및 시험편 제작

본 연구에서는 강구조물에 있어서의 보수·보강 시 기존의 노후판(구판)과 신판을 용접할 때 용접이음부에 대한 적용성을 판단하고자 화학성분 분석, 경도시험 및 마이크로조직사진분석을 한국산업규격(KS)에 준하여 수행하고 판두께, 용접부 기하학적 형상 및 용접방법 등 변수에 따라 그 결과 값에 차이를 보이나 본 실험에서는 제한된 변수에 대해 교량의 대표적인 용접상세 중 맞대

신판(SM400B)과 노후판(SWS41)의 용접이음부 성능을 파악하기 위하여 공용기간 약 20년의 실교량에 적용되었던 1000mm×300mm×10mm 크기의 평면플레이트 구판과 신판을 사용하고 판두께(t)는 두 강재 모두 10mm로 동일하였다. 용접 시험편 제작은 전체 폭(B=600), 길이(L=1000), 두께(t=10)의 크기로서 Fig.1과 같은 형태로 제작하였다.

2.2 화학성분분석

Table 1 신·구판의 화학성분분석 결과

대 상	Chemical composition (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Nb	Ti
SWS41(구판)	0.066	0.205	0.769	0.008	0.005	0.026	0.025	0.017	0.039	0.001	0.001
SM400B(신판)	0.147	0.097	0.753	0.009	0.003	0.05	0.017	0.011	0.017	0.004	0.002
규격(50mm 이하)	0.20 이하	0.35 이하	0.60~1.40	0.035 이하	0.35 이하

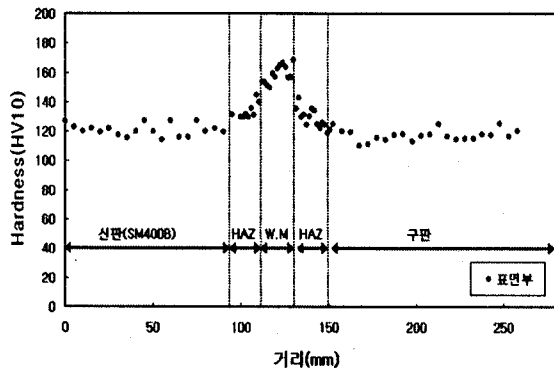


Fig. 2 표면부에서의 경도값

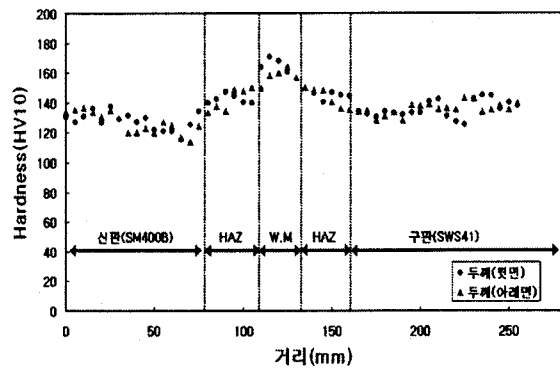


Fig. 3 두께방향에서의 경도값

구판과 신판의 화학성분분석 결과를 정리하였다. 한국산업규격(KS)에서 탄소(C), 규소(Si), 망간(Mn), 인(P), 황(S)의 5원소에 대해 규준에 명시되어진 단면 1/4(t) 지점에서 모두 KS D 3515 「용접구조용 압연강재」에서 규정하는 제한치 이내에 만족하고 있다. 또한 구판의 탄소함유량이 신판의 탄소함유량에 비해 감소하였고 용접후 용접금속에서 탄소량이 미소하게 감소하였다. 또한 인장강도 490MPa이하의 신판과 구판강재에 대한 탄소당량과 용접 갈라짐 감수성조성은 탄소의 함량이 낮아서 매우 낮은 값을 보이고 있다.

2.3 경도시험(Hardness Test)

신·구판의 경도시험 분석 결과 Fig.2, 3에 나타내었다. 표면부의 구판소재의 경도값은 115~125(HV10), 구판HAZ부 125~145(HV10), 용접금속부 145~168(HV10), 신판HAZ부 130~150(HV10)이고 신판모재부는 114~130(HV10) 정도로 전부 200(HV10) 미만의 값을 보이고 있어 안정적인 값으로 파악되었으며 구판부, 신판부, 두께방향(1/2t, 1/4t)경도값의 편차가 크지 않아 전단면에 걸쳐 균질한 값을 보이고 있다. 또한 두께방향에서는 중앙부의 1/2t 지점보다 표면쪽에 가까운 1/4t 지점이 전체적으로 약간 높게 나왔다. 이는 일반적으로 강재의 경도값은 강재 제작시 냉각속도가 빠른 표면쪽이 높기 때문일 것으로 사료된다. 용접부 또한 200Hv·10kgf 미만

의 값을 보이고 있어 용접으로 인한 용접부의 경화는 문제가 없을 것으로 사료된다. 즉, 두 강종 모두 열영향부의 연화현상은 나타나지 않았으며 경도값은 충분한 안정성을 확보하고 있다.

2.4 마이크로조직사진시험(Microstructure Test)

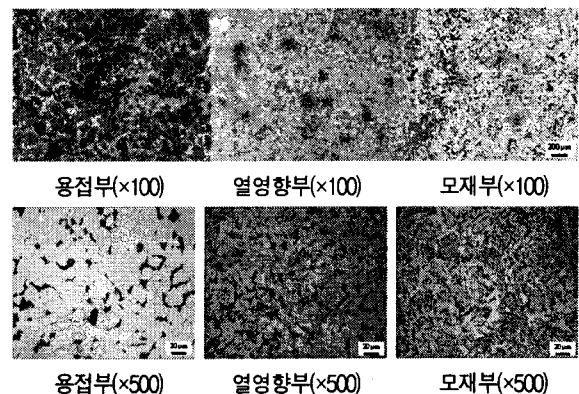


Fig. 4 구 판(SWS41)

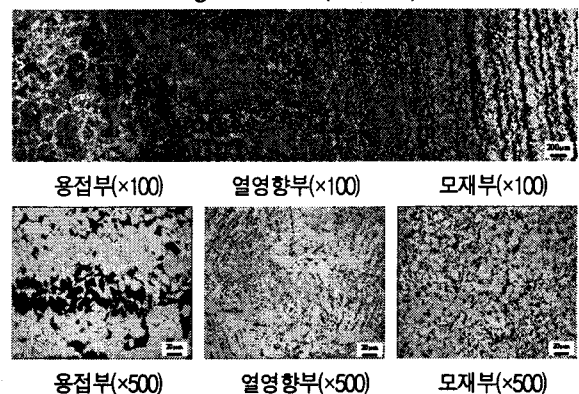


Fig. 5 신 판(SM400B)

Fig.4, 5의 신·구판 마이크로조직사진 분석결과, 각각의 시편에서 페라이트(Ferrite)조직과 펄라이트(Pearlite)조직이 보여지고 있다. 페라이트와 펄라이트의 분포는 강재의 성분 중에 탄소의 함유량과 연관이 있다. 페라이트 조직에서는 조직의 결정입자의 분포가 흰색으로 보이고 펄라이트 조직입자의 결정분포는 흑색으로 보인다. 펄라이트 조직이 증가함에 따라 강재의 경도, 인장강도가 증가하고 연신율, 충격치는 감소한다.

신·구판의 모재부에서는 대부분이 페라이트(Ferrite)조직이지만 미세한 펄라이트(Pearlite)조직을 나타냄을 알 수 있다. 탄소량이 구판보다 많은 신판이 구판의 조직에 비해 펄라이트 조직이 많음을 알 수 있다.

구판과 신판의 용접시 고온으로 가열된 열영향부(HAZ)에서는 용접열에 의해 재결정이 이루어져 입자의 크기가 미세화 됐을 뿐 모재부와 유사한 펄라이트(Pearlite) 조직을 나타냄을 알 수 있다. 결정입자가 작을수록 입자가 증가하게 되므로 결정의 입자를 가늘게 하는 것(세립화)에 의해 강도가 증가한다.

시편의 용접부에서의 조직은 전형적인 용접부 조직인 수지상조직(Dendrite)으로 응고방향에 따라 나타나있는 모양이다.

3. 피로시험

교량의 대표적인 용접상세 중 맞대기용접부에 대해 피로실험을 통하여 신·구판의 적용성에 대한 피로강도의 영향을 확인하였다.

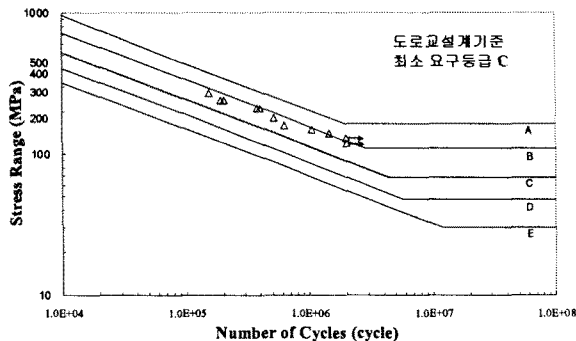


Fig. 6 피로실험 결과

실험을 통해 얻은 회귀곡선과 현행 도로교시방서(2005)에 규정되어 있는 응력, 피로수명선도(S-N Curve)를 비교한 그래프이다. 본 연구에서 대상으로 하는 피로시험체의 경우 도로교시방서에서 제한된 상세의 용접 시 제시하고 있는 최소 C등급을 만족하고 있으며 도로교시방서의 B등급과 C등급 사이에 위치하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

- 1) 신·구판의 화학성분분석 결과, 한국산업규격(KS)에서 규정하는 제한치 이내에 만족하고 있으며 구판의 탄소함유량이 신판의 탄소함유량에 비해 작은 값을 보이고 있다.
- 2) 표면부의 구판모재의 경도값은 115~125(HV10), 구판HAZ부 125~145(HV10), 용접금속부 145~168(HV10), 신판HAZ부 130~150(HV10)이고 신판모재부는 114~130(HV10)정도로 모두 200(HV10) 미만의 안정적인 값을 보였으며 구판부, 신판부, 두께방향(1/2t, 1/4t) 등 경도값의 편차가 크지 않아 전단면에 걸쳐 균질한 값을 보이고 있다. 두 강종 모두 열영향부에서 연화현상은 나타나지 않았으며 경도값은 충분한 안정성을 확보하고 있다.
- (3) 조직사진의 분석결과를 보면 용접부, 열영향부, 모재부에는 페라이트 및 펄라이트 조직으로 특별한 조직은 나타나지 않았으나 신판부가 구판부에 비해 탄소량이 많아 펄라이트(Pearlite) 조직이 많은 것을 알 수 있다. 또한 열영향부(HAZ)에서는 용접시 용접열의 유입으로 인해 재결정이 발생하여 모재부에 비해 미세한 결정립들이 존재하는 것을 알 수 있다. 즉 전체적으로 고른 입자 분포를 보이고 있으며 신·구판에 대해 거의 유사한 분포를 보이고 있다.
- (4) 피로실험 결과 현행 도로교시방서(2005)에서 제한된 상세의 용접 시 제시하고 있는 최소 C등급을 만족하고 있으며 도로교시방서의 B등급과 C등급사이에 위치하였다.
- (5) 강구조물에 있어서의 보수·보강시 기준의 노후판(구판)과 신판을 용접할 때 용접이음부에 대한 적용성을 판단 결과 동일강도를 갖은 신·구판에 유사한 결과를 보이며 전체적인 실험값이 한국산업규격 및 현행 도로교시방서 규정을 모두 만족하고 있다.

참 고 문 헌

1. 대한용접학회(1998), 용접·접합편람, 명현문화사
2. 도로교표준시방서(2005), 한국도로교통협회
3. 박현찬, 이진형, 김재환, 장갑철, 장경호(2006) 신판교체 보수 용접부의 피로강도에 관한 실험적 연구, 대한용접학회 춘계 학술발표대회 개요집, 대한용접학회, pp94-96