

## 용접금속의 피로특성에 미치는 화학조성의 영향

(Effect of chemical composition on fatigue properties of weld metal)

김숙환\*, 이종섭\*, 김상록\*\*

\*포항산업과학연구원 접합가공연구팀, 경북 포항시

\*\* 현대중합금속, 경북 포항시

### 1. 서론

제철설비는 대부분이 강 구조물로 이루어져 있을 뿐만아니라 반복적으로 중량물을 취급하기 때문에 피로특성이 우수한 구조물 설계가 요구되고 설비 운용상 안전도가 가장 중요한 문제로 대두되고 있다. 또한, 설비가 노후화되고 생산량의 증가에 따라 강구조 부재의 사용환경은 날로 가혹해지고 있어 강구조물의 안전 점검과 균열 및 결함 발생부의 적절한 보수유지는 설비의 피로 수명연장 뿐만아니라 생산성 측면에서도 아주 중요한 문제이다.

따라서, 제철설비 강구조물의 안전도 확보와 보수 용접부 피로 수명향상을 위한 기초연구로서 용접재료 강도 및 조성변화에 따른 용접금속 High Cycle 피로특성에 대해 검토하고자 하였다.

### 2. 소재 및 실험방법

본 실험에서 사용한 소재는 제철설비의 강구조물에 가장 널리 사용되고 있는 일반 구조용 강재인 SS400과 용접구조용 강재인 SM400 및 SM490B 소재를 이용하여 모재의 피로 및 기계적 특성을 비교 평가하고자 하였으며 화학성분 분석결과는 Table 1과 같다. 그리고 용접재료 및 용접 조건에 따른 보수용접부 피로특성과 개재물 분포 및 수소함량등의 영향을 검토하고자 하였으며 용접금속의 화학 성분 분석결과는 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical composition of steel used

Compo. Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Remarks
A	0.160	0.419	1.420	0.019	0.009	0.024	0.017	0.036	0.032	SM490B
B	0.155	0.263	0.772	0.016	0.006	0.029	0.026	0.032	0.030	SM400
C	0.111	0.236	0.770	0.014	0.005	0.020	0.023	0.035	0.045	SS400

Table 2 Chemical composition of weld metal

Comp. Elect.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu	Ti	H <sub>2</sub> (ppm)	Remarks
연강	0.10	0.12	0.46	0.017	0.013	0.025	0.048	-	0.108	-	18.1	E4301
	0.09	0.27	0.35	0.026	0.010	0.022	0.018	-	0.014	0.013	7.55	E6013
	0.08	0.84	0.93	0.018	0.008	0.035	0.066	0.013	0.147	0.035	0.74	E7016
HT50	0.08	0.80	1.03	0.017	0.005	0.039	0.028	0.012	0.023	0.032	1.02	E7016A
	0.08	0.57	1.02	0.012	0.004	0.057	0.027	0.008	0.023	0.028	1.39	E7016B
	0.08	0.32	0.88	0.011	0.005	0.038	0.896	0.007	0.023	0.016	0.95	E7016G B:22ppm
HT60	0.09	0.53	1.27	0.021	0.007	0.026	0.023	0.006	0.019	0.016	1.40	E8016G

또한, 본 실험에서 사용한 용접재료는 일메나이트계, 고산화 티타니아계 및 저수소계 5종으로

표준 용접조건을 기본으로 하였다. 그리고 각 용접재료별 High Cycle 피로특성을 평가하기 위하여 R=0.1, 15Hz, Sine Wave 정하중 제어방식으로 시험하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 강 구조물에 일반적으로 적용되고 있는 소재인 SS400, SM400, SM490B에 대한 모재의 High Cycle 피로특성을 나타낸 것이다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 C, Si, Mn등의 함량이 높고 Pearlite 부피분율이 30% 이상인 SM490B가 가장 높은 피로한을 나타내어 440MPa 수준이었다. 또한, 피로한을  $2 \times 10^6$  cycle로 가정했을 때  $10^4$  cycle에서  $2 \times 10^6$  cycle 사이에서 파단응력 감소율이 113MPa수준으로 상당히 높음을 알 수 있었다. 이는 동일한 응력에서 균열의 발생에서 파단까지의 시간이 길어짐을 의미하므로 피로특성이 우수함을 알 수 있었다. 그러나 SM400, SS400에서는  $10^4$  cycle에서  $2 \times 10^6$  cycle 사이에서 파단응력 감소율이 각각 50~60MPa 수준으로 낮음을 알 수 있어 피로균열의 발생 및 전파가 용이하게 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 강구조물 소재로 피로특성과 설비수명을 고려한다면 SM490B가 우수한 재질임을 확인할 있었다

Fig. 2는 용접재료 강도별 피로특성을 비교 평가하기 위하여 연강용으로 사용되는 일메나이트계(KS E4301상당)와 HT50 및 HT60급에 적용되는 용접재료인 AWS E7016G와 E8016G 상당의 저수소계 용접재료로 용접한 용접금속의 피로특성을 나타낸 것이다.

일메나이트계(KS E4301)의 경우 피로한이 325MPa로 저수소계 고장력강 용접재료(피로한 515MPa이상)보다 현저히 낮은 피로한을 나타내었다. 이는 고장력강의 용접금속부 항복강도가 450MPa이상인데 반해 일메나이트계는 350MPa 수준으로 매우 낮고 용접금속중의 수소함량이 18.11ppm으로 저수소계(1.4ppm이하)에 비해 매우 높기 때문에 피로균열의 발생이 용이한 것으로 판단된다.

또한, 저온인성을 확보하기 위하여 Si, Mn등을 낮추고 Ni, B등을 첨가하여 제조된 HT50급 고장력강 용접재료인 E7016G상당의 경우 피로한이 520MPa로 비교재중 가장 우수한 피로특성을 나타내고 있다. 이는 Si, Mn등을 낮추고 Ni, B등을 첨가함으로써 입계의 조대한 초석 Ferrite를 저감시키고 입내에 치밀한 Acicular Ferrite를 형성시키는 것과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다. 또한 용접금속의 H<sub>2</sub> 분석결과에서도 잘 알 수 있듯이 용접금속의 수소량이 가장 낮은 것도 한 요인으로 작용한 것으로 생각된다.

그리고 강도가 높은 E8016G 상당의 경우 HT50급의 다른 저수소계 용접재료보다 전체적으로 높은 피로한을 나타내어 515MPa이었다. 그러나 강도증가만큼 큰 증가를 보이지 않은 것은 용접금속중의 H<sub>2</sub> 함량이 1.4ppm으로 다른 저수소계 용접재료보다 약 40% 많은 H<sub>2</sub> 함량을 나타낸 것에 기인한 것으로 생각되어 강도와 더불어 H<sub>2</sub> 함량의 제어가 중요한 인자임을 확인할 수 있었다.

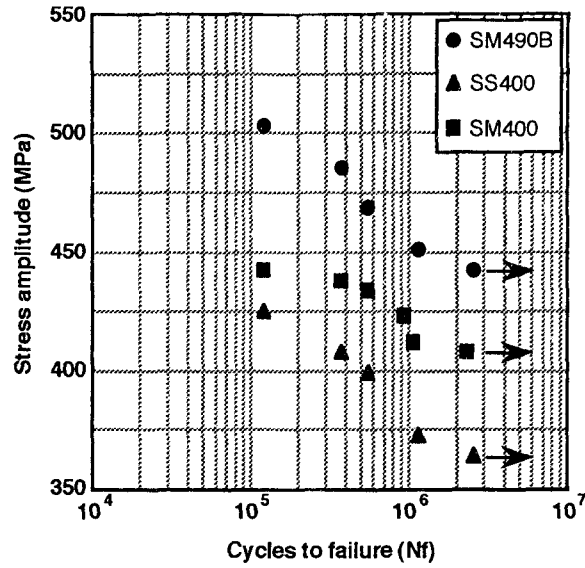


Fig. 1 Fatigue life curve for base metal

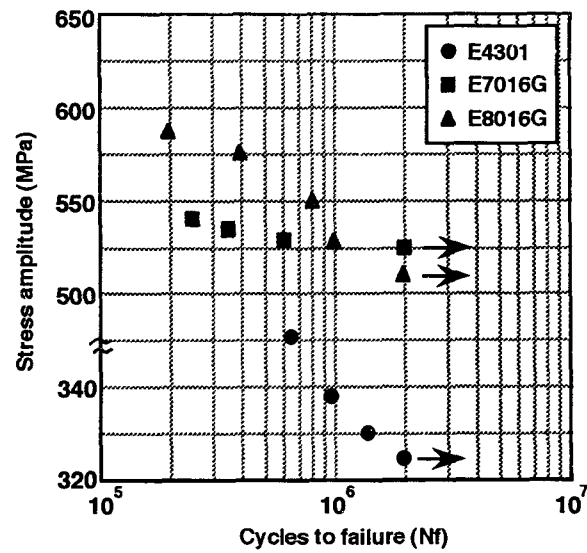


Fig. 2 Fatigue life curve of weld metal