

## 맞대기 용접부 Hot spot Stress 계측에 미치는 잔류응력의 영향 Estimation of hotspot stress on Butt joints undergo residual stress effect

한익승\*, 한명수\* 진유철\*

\* 대우조선해양㈜

### 1. 서 론

최근 해양구조물의 수직 칼럼부 용접 공법은 FCAW에 의한 다층 용접으로, 작업 시수와 작업자의 피로 가중 등, 생산 효율면에서 단점이 많았다. 이를 개선하기 위해 최초로 EGW에 의한 단층 용접을 적용하고자 EGW 적용시의 용접 강도 및 피로 안전성을 평가하기 위한, 피로 시험을 수행하였다.

피로시험에 의한 용접부의 피로 강도 평가의 최근 추세는 이음부의 구조적 불연속 효과를 고려한다는 측면에서 Hot spot stress를 평가 기준으로 정하고, 설계선도도 이에 대응한 것을 사용하는 경우가 일반적이다.

본 연구에서는 실험적 방법으로 이음부의 Hot spot stress를 평가할 때 잔류응력의 영향에 대하여 검토하였다.

### 2. 실험 방법

Fig.1은 피로시험에 사용한 시험편의 형상 및 치수를 나타내고 있다. 피로 시험편은 두께 26mm의 DH36 grade 판재에 electro-gas 용접(EGW)을 적용하여 제작된 맞대기 이음부로부터 가공되었으며 EGW 용접조건 및 groove 형상을 Table 1 및 Fig.2에 나타내었다.

Fig.2는 맞대기 이음부 피로 시험편으로부터 hot spot 응력을 계측하기 위해 시험편에 부착한 strain gage 부착 위치를 나타내고 있다. 용접부를 기준으로 양 방향 상면과 하면 모두에 gage를 부착하였으며 부착 위치는 DNV에서 정한 방법을 따랐다.

### 3. 실험 결과

Table 1은 피로 시험에 적용된 공칭응력 범위에서 계측한 hot spot 응력의 공칭응력에 대한 비와 파단 위치에서의 hot spot 응력 범위를 각각 나타내고 있다. 피로 시험에서는 최소 응력범

위 적용 조건 (192MPa)을 제외한 각 응력 level마다 2개 이상의 시험편이 사용되었다. 표에서와 같이 hot spot 응력 범위와 파단 위치와는 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았다. 이는 구조적 불연속 영향에 더하여 용접 toe부에서의 미세 형상에 따라 최종 파단 위치가 결정되기 때문으로 판단된다.

한편 공칭응력이 같은 조건에서도 hot spot 응력 값은 시험편에 따라 크게 달라짐을 보였다. 시험편은 동일한 용접사에 의해 동일한 용접 조건을 사용하여 제작되었으며 용접 시의 시험편 구속 방법도 동일하였기 때문에 각 변형량 등 구조적 불연속을 일으키는 용접 변형량은 모든 시험편에서 거의 같았다. 따라서 계측된 hot spot 응력의 편차는 구조적 불연속의 편차에 기인한 것은 아니라고 판단되었다.

Fig.3은 시험편에 부착된 strain gage로부터 하중변화에 따라 계측된 응력과 적용하중과의 관계를 나타내고 있다. 이 때의 적용 하중은 260KN이었다. 그림에서와 같이 gage 2에서 loading 시에 비선형적인 응력-하중 관계가 관찰되었다. 이러한 hysteresis 현상은 용접부의 경우 용접 잔류응력의 이완 과정에서 흔히 관찰되는 것으로서 시험편에 남아있는 용접 잔류응력과 적용하중으로 인한 응력의 합이 재료의 항복 강도를 초과하는 경우 국부적인 소성변형이 발생한 결과이다. 따라서 시험편에 가해진 응력은 항복응력보다 작다 하더라도 시험편의 잔류응력이 외부 하중과 중첩되어 국부적인 응력이 재료의 항복 응력을 초과하게 되면 경우에 따라 큰 소성 변형률이 발생하며 이의 결과로 strain gage로부터 매우 큰 strain이 계측되어 결과적으로 큰 hot spot 응력이 계산되게 된다고 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. DSME, Fatigue test proposal for butt joints by the electro-gas welding process, July 2003

2. DNV, Fatigue assessment of ship structures, Classification notes No.30.7, January 2001
3. Schneider, C. R. and Maddox, S. J., Draft of best practice guide on statistical analysis of fatigue data, 13604.01/02/1157.01, TWI, February 2003
4. DSME, Fatigue analysis of one-sided welds with ceramic backing, Report No. FM-04-275, October 2001.
5. AWS, Welding handbook, Vol 1

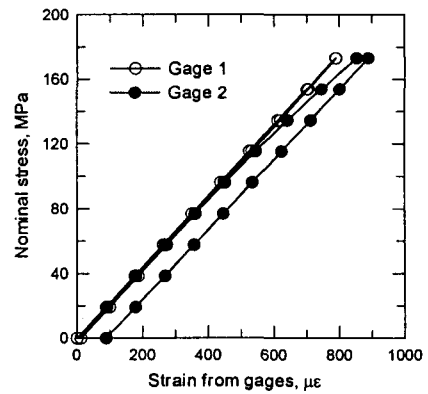


Fig.3 Stress-strain hysteresis observed from a unused specimen

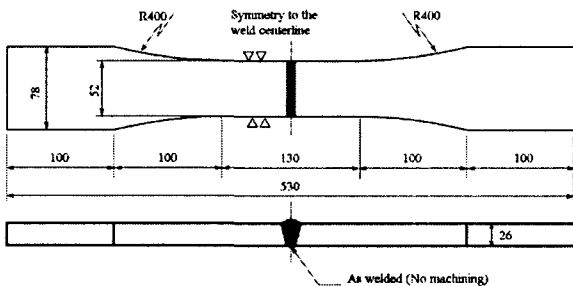


Fig. 1 Dimension and configuration of the fatigue specimen.

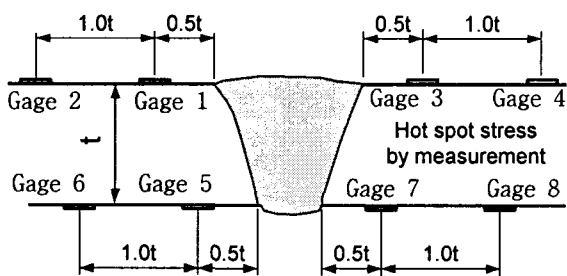


Fig. 2 Gage locations away from the weld toe

Table 2. Hotspot stress 계측결과

N. stress, Mpa (Specimen No.)	Ratio(HSS/N.Stress)				HSS range at crack initiation side (Gages at initiation side)
	Gage 1 & 2	Gage 3 & 4	Gage 5 & 6	Gage 7 & 8	
375.0 (6)	2.870	1.994	0.784	1.185	336.13 (7 & 8)
375.0(12)	1.688	1.168	0.957	1.012	283.73 (5 & 6)
375.0(19)	1.538	1.295	1.173	1.189	313.74 (5 & 6)
344.5 (1)	0.905	0.938	1.061	1.023	236.12 (7 & 8)
344.5 (7)	1.157	1.213	1.399	1.298	211.72 (5 & 6)
344.5(13)	0.822	0.774	1.156	2.544	348.81 (5 & 6)
314.0 (2)	1.167	1.190	0.782	0.795	422.23 (1 & 2)
314.0 (8)	1.517	1.839	1.322	1.446	571.84 (3 & 4)
314.0(14)	0.931	0.912	1.159	1.124	316.89 (5 & 6)
283.5 (3)	1.573	1.610	0.933	0.753	261.74 (5 & 6)
283.5 (9)	1.698	1.565	1.021	0.843	363.61 (5 & 6)
283.5(15)	1.067	0.966	0.871	0.993	772.56 (7 & 8)
253.0 (4)	0.828	0.801	1.174	1.069	285.82 (7 & 8)
253.0(10)	0.820	0.693	1.384	1.480	245.34 (5 & 6)
253.0(16)	1.042	0.917	1.039	1.080	252.99 (5 & 6)
222.5 (5)	1.145	1.229	0.855	0.797	243.64 (7 & 8)
222.5(17)	0.709	0.630	1.268	1.417	220.76 (7 & 8)
192.0(18)	0.162	0.104	2.095	1.963	435.25 (5 & 6)

Table 1 Welding conditions applied for the butt joint assembly.

Test set	Joint Sample	Position	Polarity	Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Heat Input (KJ/mm)
1 <sup>st</sup> set	1	3G	DCRP	380	38.4	5.63	15.55
	2		DCRP	380	38.0	6.00	14.44
	3		DCRP	380	38.0	5.74	15.09
2 <sup>nd</sup> set	1		DCRP	390	38.0	6.30	14.11
	2		DCRP	390	38.0	5.91	15.05