

Backplate의 유무에 따른 맞대기 용접 시험편의 피로강도 평가

한주호* · 김성민* · 이우일* · 강성원* · 김명현*†

*부산대학교 공과대학 조선해양공학과

Fatigue Assessment of Butt Welded Specimen According to the Existence of the Backplate

Ju-Ho Han*, Seong-Min Kim*, Woo-Il Lee*, Sung-Won Kang* and Myung-Hyun Kim*†

*Dept. of naval architecture and ocean engineering, Pusan National University, Pusan 609-392, Korea

†Corresponding author : kimm@pusan.ac.kr

(Received November 28, 2008 ; Revised January 7, 2008 ; Accepted February 5, 2009)

Abstract

In this study, a series of fatigue test was performed to evaluate the fatigue strength of butt welded specimens. Effective notch stress through finite element analysis was conducted to analyze the fatigue results. As a results, no significant decrease in fatigue strength was observed when backplates were present. The S-N curve that based on effective notch stress appeared a similar fatigue life to FAT 225 curve without reference to existence of backplates.

Key Words : Backplate, Fatigue assessment, Butt weld, Effective notch stress

1. 서 론

금속 구조물의 접합방법으로 용접은 작업의 용이성, 구조물의 단순화, 수밀의 우수성 등의 장점 때문에 철도, 교량, 선박 등 많은 기계 구조물 제작에 이용되고 있다. 이러한 용접 구조물의 경우 오랜 시간 동안의 반복하중으로 발생하는 피로파괴가 일어나는 위치는 일반적으로 응력 집중이 발생하는 용접 연결부이다^{1,2)}. 따라서 용접 구조물의 용접 연결부에 대한 피로강도 평가는 설계 시 매우 중요한 요소로 작용한다³⁾. 한편, 철강 구조물의 제작 시 채용되는 다양한 용접이음 형식 중 이음효율이 좋고 시공이 간편하며 중량 경감 및 구조를 간이화 할 수 있어 맞대기 용접이 널리 사용되고 있다. 이러한 맞대기 용접은 용접 완료 후 backplate의 제거 여부에 따라 피로 강도에 차이를 나타내는 것으로 알려져 있다⁴⁾. 따라서 본 연구에서는 용접 완료 후 backplate 제거여부에 관한 연구를 위해 steel backing(제거X), ceramic backing(제거O) 맞대기 용접 시험편을 제작

하였다. 또한 steel backing한 under matching맞대기 용접 시험편을 제작하여 피로수명을 비교해 보았다. 각 시험편에 대한 피로강도 평가를 위한 피로시험을 수행하였으며 유효노치응력 기법을 이용하여 피로시험 결과와 비교 검토 하였다.

2. 시험편 형상

본 연구에서는 Table 1과 Fig. 1에 나타낸 용접 조건으로 GMAW용접하였고, 용접자세는 아래보기로 하였다. 시험편은 설계에 따라 Fig. 2와 같이 제작하였다. 이후 시험에 사용된 3종류의 시험편을 SB(Steel Backing), CB(Ceramic Backing), UMSB (Under

Table 1 Welding condition

	SB	CB	UMSB
pass	4	4	3
Welding process	GMAW		
Base metal grade	SM 490	SM 490	WELDOX 700

Joint Preparation				Bead Sequence							
Pass No.	W/D Process	Filler Metal AWS Class Size (mm)	W/D Position	Current Type DC/AC	Ampere [A]	Volt [V]	Speed [CPM]	Heat Input [KJ/Cm]	Interpass Temp.	REMARK (용접시간)	
1	GMAW	ER70S-6 1.4	Flat	DC	280	24	20	20.1	10°		
2	GMAW	"	"	DC	330	26	23	22.4	69°		
3	GMAW	"	"	DC	330	26	26	19.8	108°		
4	GMAW	"	"	DC	330	26	20	25.7	158°		

a) SB

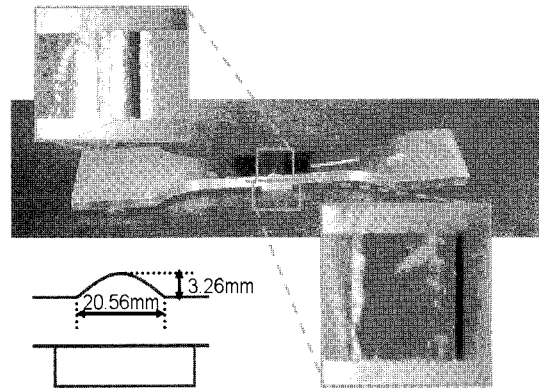
Joint Preparation				Bead Sequence							
Pass No.	W/D Process	Filler Metal AWS Class Size (mm)	W/D Position	Current Type DC/AC	Ampere [A]	Volt [V]	Speed [CPM]	Heat Input [KJ/Cm]	Interpass Temp.	REMARK (용접시간)	
1	GMAW	ER70S-6 1.4	1F	DC	290	21	15	19.3	17°	3분20초	
2	GMAW	"	1F	DC	330	26	22.7	22.6	79°	2분12초	
3	GMAW	"	1F	DC	330	26	25.4	20.2	138°	1분58초	
4	GMAW	"	1F	DC	330	26	20.4	25.2	170°	2분27초	

b) CB

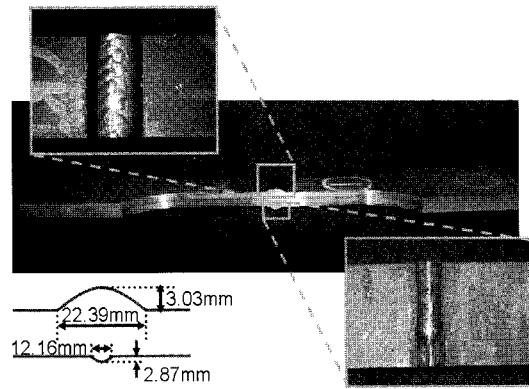
Joint Preparation				Bead Sequence							
Pass No.	W/D Process	Filler Metal AWS Class Size (mm)	W/D Position	Current Type DC/AC	Ampere [A]	Volt [V]	Speed [CPM]	Heat Input [KJ/Cm]	Interpass Temp.	REMARK (용접시간)	
1	GMAW	E5.28 1.4	1G	DC	300	29.5	33	15.9	35° C		
2	GMAW	"	"	"	320	30	25	22.1	137° C		
3	GMAW	"	"	"	320	30	25	23.2	189° C		

c) UMBS

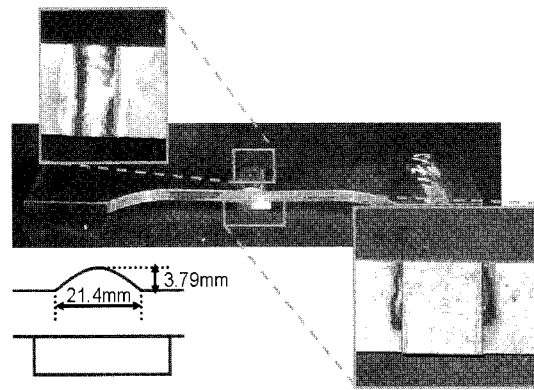
Fig. 1 Welding procedure



a) SB



b) CB



c) UMBS

Fig. 2 Weld profile

Matching Steel Backing)로 부르기로 한다.

3. 피로시험 방법 및 결과

3.1 피로시험 방법

본 연구에 사용된 피로 시험기는 최대용량 50ton의 축인장/압축 유압 서보 피로 시험기(Instron Model 8803)를 사용하였다. 피로 실험을 실시하기 전, 각각의 용접 시험편에 대한 공칭응력을 계산하기 위하여 해당 용접부의 실제 단면적을 측정하였고, 하중 제어 방식으로 피로 실험을 수행하였다. 피로 하중의 파형은 정현파이며, 응력비는 완전 편진 상태가 되도록 최대 하중과 최저 하중을 설정하였다. 하중 반복 속도는 각 시험

별 응력 대를 고려하여 4~10 Hz범위에서 실험을 수행하였고, 피로 한도는 2×10^6 cycles로 고려하여 실험을 수행하였다. 피로시험은 2×10^6 cycle 이상 피로 한도를 넘어서는 시험편이 발생할 때까지 하중을 변화시켜가며 시험을 수행하였다. 본 연구에서는 SB 시험편 21개, CB 시험편 18개, UMBS 시험편 16개, 총 55개의 시험편에 대하여 stress range 120MPa~280MPa 응력대에서 피로시험을 실시하였다. 시험편 제작의 정도를 알아보기 위해 피로시험 전 치수, misalignment, angular distortion을 측정하였으며 misalignment는

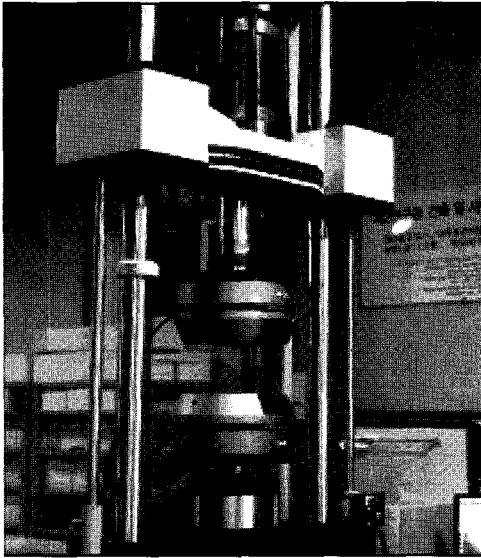


Fig. 3 Fatigue test machine

CB(0.26mm), SB(0.17mm), UMSB (0.12mm), angular distortion은 UMSB (0.015), SB(0.0107), CB (0.0095)으로 측정되었다. Fig. 2에 나타난 치수는 총 시험편의 평균값을 나타낸 것이다. Fig. 3에는 본 피로 시험에 사용된 피로 시험기를 나타내었다.

3.2 피로시험 결과

피로시험 결과 SB 시험편과 CB 시험편은 모든 시험편이 용접토우부에서 균열이 발생하여 두께 방향으로 거의 0°로 진전하여 파손되었다. UMSB 시험편도 1개를 제외한 나머지 시험편은 모두 용접토우부에서 크랙이 발생, 진전하였고 1개 시험편이 주판에 backplate를 고정시키기 위해 가용접한 부분에서 균열이 발생하여 피로파손이 일어났다. Fig. 4에 피로시험 중 균열의 발생, 진전 사진을 나타내었다. 세 시험편 모두 보이는 바와 같이 용접토우부에서 균열이 발생하고 두께 방향으로 전파하는 양상을 나타내었다. Fig. 5에 피로시험의 결과를 바탕으로 S-N선도를 나타내었으며 일반적으로 알려진 바와 같이⁵⁾ CB 시험편이 SB 시험편보다 긴 수명을 가지는 것을 확인하였다.

용접 후 제거 가능한 Ceramic Backing재가 backplate를 사용하는 맞대기 용접에 있어 피로파손 부위에는 영향을 끼치지 않고 피로수명의 향상에만 영향을 끼치는 것을 알 수 있었다. 또한 UMSB 시험편은 SB와 같은 강재의 backplate를 사용하였고 under matching 되었음에도 불구하고 CB와 거의 비슷한 수명을 가지는 것으로 나타났다. 본 시험 결과에 비추어 볼 때 under matching 시험편에 ceramic backing재를 사용할 경우

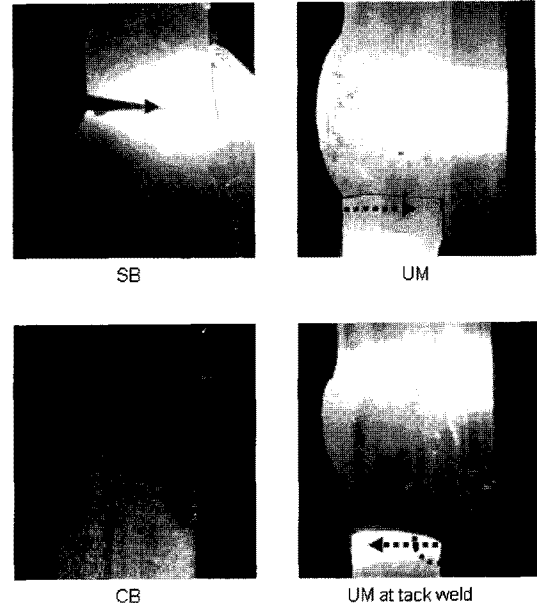


Fig. 4 Typical location for crack initiation and crack propagation

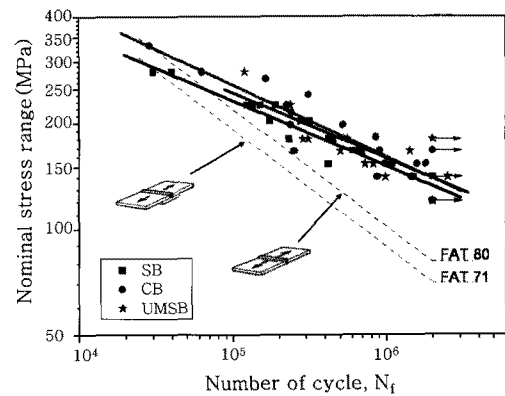


Fig. 5 S-N Curve

본 시험에 사용한 CB, SB, UMSB 보다도 더 좋은 피로강도를 가질 것을 예상할 수 있었다.

4. 유효노치응력

본 연구에서는 IIW(International Institute of Welding)에서 제시하는 가상의 노치반경 1mm를 용접 토우부와 용접루트부에 적용하여 맞대기 용접 시험편의 피로강도평가를 수행하였다. 사용한 가상의 노치반경은 식(1)에 의해서 정의되어지며 ρ_f 는 가상의 노치반경, ρ 는 실제 노치반경이다. s 는 다축성계수로서 용접부 대부분의 경우에 사용되는 2.5를 사용하였다. ρ^* 는 미세 조직 길이며, 인장강도 혹은 항복강도에 따라 ρ^* 가 결정되고^{6,7)} 본 연구에서는 0.4로 하여 가상의 노치반경

을 1mm로 하여 해석을 수행하였다.

$$\rho_f = \rho + s\rho^* \tag{1}$$

피로노치계수는 유한요소해석을 통한 유효노치응력으로부터 계산되어진다. 유한요소해석에 사용한 요소의 최소 크기는 일련의 parametric 연구 후 얻어진 요소 크기인 0.1mm로 하였고, 기본적으로 4개의 노드를 갖는 2차원 평면 변형률요소를 사용하였다⁸⁾. 경계조건으로는 1/2 요소 모델이므로 중앙절단부에 x축 방향으로 대칭조건, 오른쪽 하중이 작용하는 부분에는 y축 방향으로 경계조건을 설정하였다. Fig. 6은 가상의 노치반경을 적용한 맞대기 용접부의 응력분포를 나타낸 것이며 보이는 바와 같이 기하학적 불연속부인 용접토우부와 용접루트부에서 응력이 집중됨을 확인할 수 있었다.

Table 2는 유효노치응력으로 계산된 각 시험편의 용접토우부와 용접루트부의 피로노치계수를 나타낸 것이다. SB는 해석 결과 용접토우부의 피로노치계수가 용접루트부의 피로노치계수보다 더 높게 나왔으며, 이는 본 피로시험 결과와 일치하는 것으로 나타났다. CB는 피로시험 결과와는 달리 용접루트부의 피로노치계수가

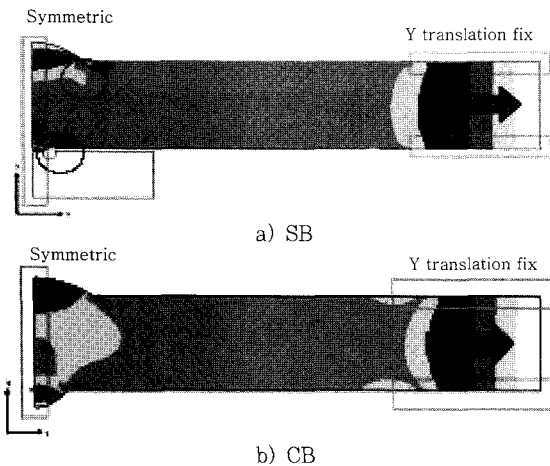


Fig. 6 Finite element mesh with fictitious notch radius

Table 2 Results of fatigue notch factors at the weld toe and weld root

	Position	K_f
SB	Toe	2.24
	Root	1.92
CB	Toe	2.08
	Root	2.42

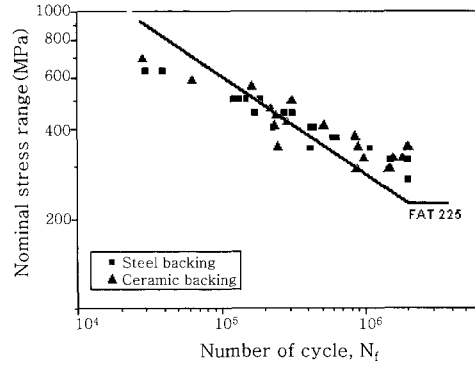


Fig. 7 Notch stress based S-N curve

더 높게 나타났다. 이는 유한요소해석 과정에는 고려하지 못한 시험편 제작 시 발생하는 misalignment와 angular distortion의 영향으로 생각되며 실제 측정결과 steel backing 시험편보다 ceramic backing 시험편에서 misalignment와 angular distortion이 더 크게 측정되었고 이로 인해 CB의 용접토우부에 더 큰 인장력이 작용함을 알 수 있었다. Fig. 7은 유효노치응력에 따른 피로수명을 IIW에서 제시하는 설계 선도 FAT 225와 비교한 것을 나타내었다⁴⁾

5. 결 론

본 연구에서는 backplate를 사용하여 맞대기 용접 시험편을 제작한 후 backplate의 제거 여부에 따른 피로강도 평가와 언더매칭을 하여 용접하였을 때의 피로강도 평가를 위해 피로시험 및 유효노치응력법을 이용한 유한요소해석을 수행하였다. 그 결과 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) Backplate를 사용한 맞대기 용접 이음부에 있어서 용접 완료 후 backplate 제거 여부에 따른 피로수명은 backplate를 가지고 있는 것이 고응력에서는 35%, 저응력에서는 5% 정도 낮게 나타났다. 이는 backplate를 제거하는 것이 평균적으로 20%의 수명을 증가시키는 것을 알 수 있다.

2) UMSB 시험편의 경우 backplate를 제거하지 않았음에도 불구하고 backplate를 제거한 CB와 거의 비슷한 피로수명을 나타내었으며 ceramic backing재를 사용할 경우 좀더 좋은 피로 수명을 가질 것으로 사료된다.

3) 유효노치응력 기법을 적용한 유한요소 해석결과 SB는 용접토우부의 피로노치계수가 높게 산정되었으며 이는 실험결과와 일치하는 경향을 보인다. 이에 반해 CB는 실험결과와는 대조적으로 용접루트부의 피로노치

계수가 더 크게 나타났다. 이는 해석상에서 고려하지 않았던 misalignment와 angular distortion의 영향인 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 산자부 중기거점 및 첨단 조선공학 연구센터의 지원으로 수행되었습니다

참 고 문 헌

1. 엄동석, 강성원, 하우일 : 필릿 용접이음부의 응력 집중계수에 관한 연구, 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 1 (1984), 14-17
2. H. S. Bang, S. W. Kang, J. M. Kim : A study on the optimization of shape of weld joints, Bulletin of the korean weld society, 15-4, (1997), 70-77
3. M. G. Kim, T. G. Min : Analysis of fatigue durability on seam weldment using notch stress approach, Bulletin of the korean weld society, 22-2 (2004), 28-32
4. Recommendation for Fatigue Design of Welded Joints and Components, IIW documents. I-1965-03/XV-1127-03 (2004)
5. J. H. Han, S. W. Kang, J. H. Pyun, S. M. Kim, M. H. Kim : Fatigue assessment of butt welded specimens with backplates, Proceeding of the 2008 spring annual meeting of korea, 1975-1979 (2008)
6. Radaj D. : Review of fatigue strength assessment of nonwelded and welded structures based on local parameters, International Journal of Fatigue, 18-3 (1996), 153-170
7. Neuber H. : Theory of Notch Stress, Ann Arbor Mi, Edwards, (1946)
8. S. W. Kang, M. H. Kim, H. R. Kim, J. H. Pyun : A study on the fatigue, Proceeding of the 2008 autumn annual meeting of korean welding and joining society, 48 (2007), 272-275(in Korean)