T형 편면용접이음재의 굽힘피로강도에 관한 연구

A Study on Bending Fatigue Strength of One Side Fillet Welded T-Joint

엄동석* 강성원* 조수형** 이태훈*

* 부산대학교 조선해양공학과
** 삼성중공업 생산기술팀

1. 서론

T형 편면용접이음은 구조물에서 양면용접이 어려운 부위나 박스형 거더 등에 많이 이용되는 이음형식이다. 그러나 현재 이에 대한 피로강도 검토가 부족한 실정이라 본 연구에서는 T형 편면용접이음재의 홈가공 유·무와 용접이음 형상에 따른 굽힘피로강도를 조사하여 용접시공 조건의 기준을 제시하고자 한다.

또한 작업과정중에 용락현상이 발생한 경우의 굽힘피로강도를 확인하기 위해, 고의적으로 용락을 생기게 하는 시공방법에 의해 제작한 이음재에 대한 굽힘피로강도에 대해서도 조사하였다.

2. 시험편 제작 및 실험방법

본 연구에 채용한 용접이음재는 SM490A강을 사용해 두께가 14mm인 판에 12mm판을 T형으로 배치하여 제작하였다. A TYPE 이음재는 홈가공한 후 1pass로 자동용접하였고, B TYPE 이음재는 홈가공하지 않고 1pass로 자동용접하였으며, C TYPE 이음재는 홈가공하지 않고 1pass로 수동용접하였다. D, E, F TYPE 이음재는 홈가공하지 않고 각 2, 3, 4pass로 자동용접해 다리길이가 증가 되도록 제작하였다. G TYPE 이음재는 판 사이에 gap을 2mm 유지하여 반자동 수동용접으로 용락이 발생하게 용접하였다. 각 용접이음재의 용접조건과 용접부 형상은 Table 1에 나타내었다.

피로시험편은 용접이음재에서 Fig. 1과 같이 편면필릿용접된 일정단면 외팔보 시험편을 제작하였다. 그 후 시험편의 필릿부분을 마크로 부식한 후 광학현미경으로 관찰하여 각 시험편 종류에 따른 용접부의 용입형태를 조사하여 Table 2에 나타내었다.

피로시험기는 일정진폭 굽힘피로시험기를 사용하였다. 피로하중의 파형은 정현파를 채용하였고, 하중반복속도는 6-10Hz에서 시험하중의 크기에 따라 변화시켰다. 피로시험방법은 자유단의 변위제어 양진피로시험법을 채용하였으며 응력비 R=-1이 되도록 하여 완전양진상태가 되도록 하였다.

3. 유한요소법에 의한 해석

T형 편면용접이음재의 토우부 및 루트부의 응력상태를 조사하기 위해 범용해석프로그램인 ANSYS를 이용하여 각 이음재의 필릿형상을 고려한 모델링에 의해 응력해석을 수행하였다.

필릿부의 모델링시 불용입부의 길이는 시험편을 부식시켜 측정한 치수를 채용하였고, 토우부와 루트부는 mesh를 작게 하여 응력집중의 효과가 나타나도록 하였다. 실제 피로실험에서 변위의 폭이 최대 ±15.24mm에서 최소 ±3.81mm이므로 -15mm에서 15mm까지 1mm씩 변위를 증가시켜가며 해석을 수행하였고, 변위가 큰 경우 토우부 및 루트부에 작용하는 응력이 항복응력 이상이므로 Full Newton Raphson법을 이용하여 비선형 탄소성해석을 수행하였다.

Fig. 2는 -15mm에서 15mm까지 1mm씩 변위를 증가시킬 때, 시험편 종류에 따른 토우부와 루트부의 $|\sigma_{EQV}|$를 나타낸 것이다.

4. 실험결과

피로시험결과 A TYPE 시험편은 Fig. 2의 유한요소법 해석결과에서 나타나듯이 시험한 변위중 가장 큰 변위에서는 루트부보다 토우부에 더 큰 응력이 작용해 균열이 먼저 발생, 전파하여 모재

에서 파단하고, 그 이하의 변위에서는 루트부에 더 큰 응력이 작용해 균열이 발생하여 용접 열영향부를 따라서 전파하여 파단을 일으켰다.

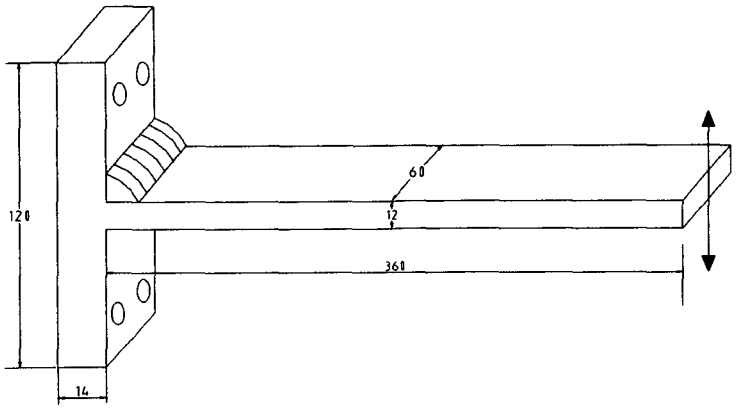
B, C, D TYPE의 모든 시험편은 루트부에서 파단을 일으켰다. E, F, G TYPE의 모든 시험편은 토우부에서 파단을 일으켰다. E, F TYPE의 경우는 홈가공하지 않았을 때 토우파괴가 일어나기 위한 임계다리길이 이상으로 제작되어, Fig. 2의 유한요소법 해석결과에서 나타나듯이 루트부보다 토우부에 더 큰 응력이 작용하게 되어 토우부에서 균열이 발생, 전파하여 모재에서 파단하였다. G TYPE 시험편은 이음재에 gap을 주어 루트부에 용락이 발생하도록 제작한 것으로 루트부의 결함이 증대하여 홈가공 치수가 작으면서 용락이 발생하지 않도록 용접한 시험편(A TYPE)에 비하여 강도가 저하되었으나, 홈가공하지 않은 시험편보다는 향상된 강도를 나타내었다.

굽힘피로강도는 A - G - F - E - D - B - C TYPE 시험편의 순으로 나타났다.

토우부에서 113mm 떨어진 위치에 작용하는 응력과 파단수명과의 관계를 홈가공한 경우는 Fig. 3에 나타내었고 홈가공하지 않은 경우는 Fig. 4에 나타내었다.

5. 결론

1) T형 편면용접이음에서 홈가공했을 때는, 홈가공하지 않고 다리길이를 2배 늘여 제작한 경우보다도 굽힘피로강도가 우수한 것으로 나타났다.
2) T형 편면용접이음에서는 다리길이가 증가함에 따라 굽힘피로강도도 향상되었고, 종방향다리길이 보다는 횡방향다리길이의 증가가 굽힘피로강도의 향상에 기여하였다.
3) T형 편면용접이음에서 홈가공하지 않은 경우 토우파괴가 일어나기 위한 다리길이(h)와 주판두께(t)의 비 h/t는 1.2였다.
4) T형 편면용접이음에서 홈가공한 경우에 용락이 발생하면 강도는 저하되나, 홈가공하지 않고 상대적으로 다리길이가 큰 경우보다 높은 강도를 나타내었다.



(unit: mm)

Fig. 1 Shape and dimension of specimen

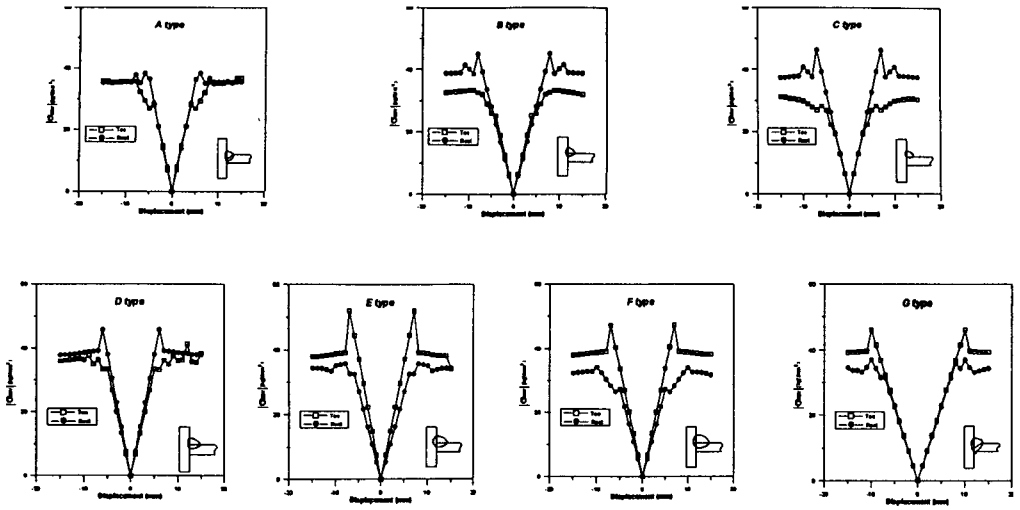


Fig. 2 $|\sigma_{EQV}|$ on toe and root by F. E. M analysis

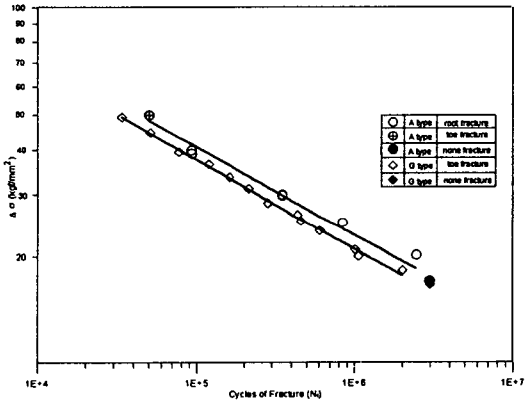


Fig. 3 Fatigue test result (edge preparation)

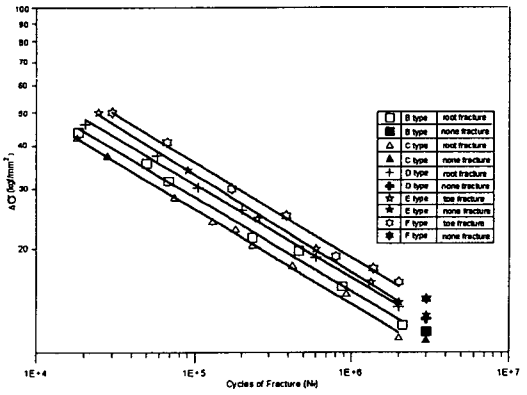


Fig. 4 Fatigue test result (no edge preparation)

Table 1 Shape of weld zone and welding condition

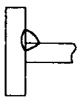
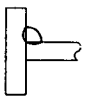
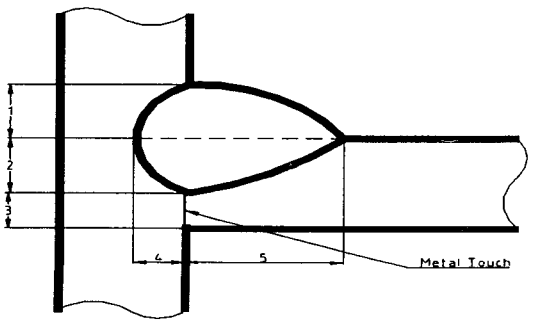
Type of specimen	Shape of weld zone	Leg length(mm) (vertical× horizontal)	Edge preparation	Pass	Current (A)	Voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Diameter of wire (ϕ)	Welding process	Shielding gas
A		3×9	○	1 pass	320	29	58	1.6	Automatic	Ar 80% CO_2 20%
				2 pass	380	33	42			
B		9×10	×	1 pass	420	33.5	28	1.6	Automatic	Ar 80% CO_2 20%
C		13×8	×	1 pass	350	40	35	1.2	manual	CO_2 100%
D		10×11	×	1 pass	350	25	24	1.2	Automatic	Ar 80% CO_2 20%
				2 pass	320	28	21			
E		13×14	×	1 pass	300	26	21	1.2	Automatic	Ar 80% CO_2 20%
				2 pass	320	28				
				3 pass	280	26				
F		14×17	×	1 pass	320	26	18	1.2	Automatic	Ar 80% CO_2 20%
				2 pass	300					
				3 pass	280					
				4 pass	280					
G		5×12	○	1 pass	250	23-35	30	1.2	Semi-Automatic	CO_2 100%

Table 2 Dimension of weld zone



Specimen type \ Dimension	1	2	3	4	5
A	3	10	2	3	9
B	9	6	6	4	10
C	13	2	10	5	8
D	10	4	8	2	11
E	13	4	8	2	14
F	14	2	10	2	17
G	5	11	1	2	12

(unit: mm)