

용접이음부의 피로강도 해석을 위한 수치해석과 실험과의 비교연구

A Study on Welding Connection's Fatigue Analysis through Numerical and Experimental Approaches

조 규 남*
Cho, Kyu-Nam
하 우 일**
Ha, Woo-Il

.....

요 약

대부분의 선체 및 해양구조물은 용접을 통해서 만들어지며 이러한 구조물들은 항상 변화되는 하중에 노출된다. 본 논문에서는 T형 용접이음부의 응력집중과 피로특성규명을 위하여 수치해석적 방법을 통한 연구결과를 실험결과와 비교 검토하였다. 특히 필렛용접, 완전 용입용접, 부분 용입용접부의 특성을 응력집중과 피로강도면에서 연구하였으며 이를 위한 파라미터로는 불 용입부의 길이, 각장의 크기 및 형태, 삽입판의 각도 등을 채택하였다. 최적의 용접을 위하여 각 파라미터의 선정을 효과적으로 할 수 있도록 응력 및 피로수명분포, S-N선도를 정리하였으며 필렛용접이 용입용접을 대신하여 사용될 수 있는 근거를 제시하였다. 본 연구결과는 실제 현장에서 구조의 용접이음부 형태 선정에 지침이 될 수 있다.

Abstract

Most of the ship structures and offshore structures are constructed through the welding and they are always subjected to variable loads. In this study, fatigue and stress concentration of the various types of welding connections due to the variable loads are investigated by using numerical approach, and comparisons between numerical analysis and experiments are performed. Fillet weld, full penetration weld and partial penetration weld characteristics are studied by using parameters such as penetration length, welding leg length, size and penetration angle.

Based on this study, it is suggested that the fillet welding can be replaced with the penetration welding in some cases. The results of this study can be used as guidelines for actual welding problems in the shipyards.

.....

1. 서 론

선체 및 해양구조물의 구성요소는 용접을 통하

* 홍익대학교 조선해양공학과
** 현대중공업 선박해양연구소

이 논문에 대한 토론을 1994년 3월 30일까지 본학회에 보내
주시면 1994년 9월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

여 전체구조물을 구성하는 바 용접이음부의 특성 규명은 매우 중요하며, 특히 응력집중 현상과 피로강도 해석을 위하여 이론적 해석방법에 근거한 수치해석과 실험을 통한 연구는 지금까지 많이 수행되어 왔다.^{1~3} 이러한 연구는 많은 시간과 노력을 요구하며 특히 실험에 의존하여 결과를 얻기에는 요구되는 시간과 경비가 막대하다.

본 연구에서는 텍크 구조물등에서 많이 사용되는 T형 용접이음부에 대해서 응력집중과 피로강도 규명을 위한 연구를 유한요소법을⁴ 이용하여 수행하였고 그 결과를 이미 부분적으로 수행되었던 실험 결과와 비교하였다.^{2,8} 용접이음부를 대표적인 용접형태에 따라 3개의 그룹으로 나누었고 각 이음부에서의 응력집중과 피로수명을 추정하고 그에 따른 S-N 선도를 작성하였다. 3개의 그룹은 대칭 직각이음부, 비대칭 직각이음부, 비대칭 경사이음부로 대별되며 각종 관련 파라미터를 변화시켜 각각의 변화에 따른 영향을 검토하였다. 파라미터로는 불용입부의 길이, 각장비, 각장각도, 삽입판의 각도로 하였고, 위의 3가지 그룹에 따라 모델링 및 수치해석을 수행하였다.

해석수행에 있어서 먼저 유한요소법을 이용한 정적응력 해석을 통하여 응력집중계수 등을 구하였고 이 해석 결과를 사용하여 반복하중에 의한 피로수명을 계산하였다. 해석 결과를 이용하여 각종 파라미터의 변화에 따른 용접이음부의 특성을 규명하였고 필렛용접과 용입용접의 비교 검토를 수행하였다.

그리고 이미 현대중공업 종합연구소에서 수행하였던 모형시험 결과와 유한요소해석으로 얻은 결과를 비교검토 하였다.

2. 용접이음부의 피로수명 연구 배경

반복하중을 받는 구조물의 피로수명을 해석하는 데는 피로곡선 즉 S-N 선도를 가지고 Miner 법칙을 이용하는 방법과 파괴 역학을 이용해서 해석하는 두가지 방법이 있으나 일반적으로 Miner 법칙에 의한 피로수명 해석을 많이 사용한다.^{5,6} S-N 선도를 이용한 방법은 균열이 없는 구조물에 적용하며 응력폭 S와 그 응력폭에서 피로파괴가

일어나는 횟수 N의 관계로 표시된 선도를 이용하여 손상율을 계산한다. 이 선형누적 손상법은 응력폭들의 발생순서, 응력변동의 발생속도, 평균응력등의 영향이 고려되지 않는 불완전한 것이기는 하나 현재 널리 사용되고 있는 방법이다.

파괴역학을 이용한 방법은 용접이음부등에 존재하는 초기 결함을 인지하여 균열의 수명예측을 위한 것으로 Paris 법칙이 널리 사용되고 있다. 즉 $da/dN=C(\Delta K)^m$ 의 곡선을 사용, 균열성장 속도에 근거하여 피로수명을 계산한다.³

한편 용접이음부의 피로강도 해석을 위해서 유한요소법이 활발하게 이용되고 있으며 현재에는 적절한 요소선정과 요소분할 및 전, 후처리 과정등의 자동화등에 힘입어 매우 광범위하게 이용되고 있다. 응력집중 계수를 결정하기 위해서는 시험등의 방법보다 보다 효과적으로 이용되며 이외에도 전 구조물의 응력분포값, 변형, 변형도등을 쉽게 알 수 있고 기하학적 형상의 변화를 쉽게 적용하여 많은 해석결과를 얻을 수 있는 등의 장점이 있어 본 연구에서도 유한요소법을 이용한 결과를 근거로하여 Miner법칙을 이용한 피로균열 발생수명을 계산하였다.

3. 유한요소법을 이용한 수치해석

3.1 용접이음부의 대표적 모델

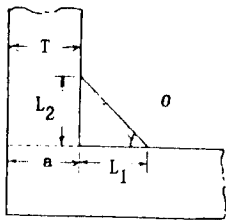
Fig. 1과 같이 등방성 재질로 이루어진 3개의 용접이음부의 모델을 선정하였다. 이는 용접이음부 형태의 변화에 따른 응력 및 피로수명의 영향을 검토하기 위한 것이며 주요형태로 서론에서 언급한 바와같이 대칭 직각이음부, 비대칭 직각이음부, 비대칭 경사이음부의 그룹으로 나누었으며 파라미터로서는 불용입부의 길이, 각장의 크기 및 형태, 삽입판의 각도를 정하였다.

용접되지 않은 판과 판의 접촉부로서의 불용입부는 균열과 같은 효과를 갖고 있어 피로수명에 큰 영향을 미치며 여기서 그 영향을 조사하기 위하여 완전 용입이음부, 부분용입이음부, 필렛이음부로 나누어 해석을 수행하였다. 한편 각장비는 각장각도 모재 두께와의 비로 무차원화 시킨 각장비를 사용하였으며 대칭 필렛이음부에서는 각장비

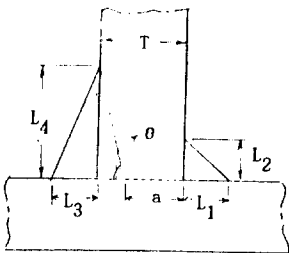
0.5, 0.75, 1.0의 3가지를 사용하였다. 또 이 모델에서는 각장 경사각을 30°, 45°, 60°로 하여 각도 변화에 따른 결과를 서로 비교하였다. 비대칭 이음부의 경우 모재의 개선각을 22°, 40°, 51°의 3가지로 변화시켰고 또한 용입부 길이는 변화시키고 개선각은 일정하게 하여 각각의 각장을 정하고 이에 따른 결과를 서로 비교하였다. 비대칭 경사이음부의 경우 불용입부의 변화에 따른 결과를 서로 비교하였다.

Table 1은 대칭 직각이음부 모델 7개, 비대칭

1. Symmetric Joint Model : $F_a, F_b, F_c, F_a \cdot 30, F_a \cdot 60, PA, FP$



2. Unsymmetric Joint Model : $U_a, U_b \cdot 22, U_b \cdot 40, U_b \cdot 51, U_c$



3. Inclined Joint Model : S_a, S_b, S_c

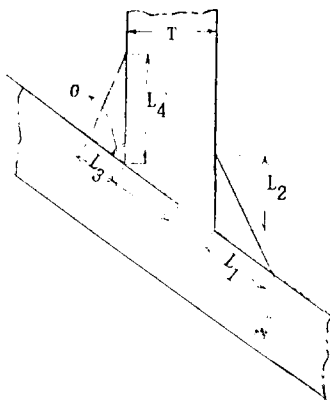


Fig. 1 대표적 용접이음부의 모델 형상

Table 1 대표적 용접이음부의 모델 칫수

(단위 : mm, deg.)

그룹	모델	칫 수						
		T	a	θ	L_1	L_2	L_3	L_4
A (대칭 직각 이음부)	Fa	15	15	45	15	15		
	Fb	15	15	45	11.25	11.25		
	Fc	15	15	45	7.50	7.50		
	Fa · 30	15	15	30	18.75	11.25		
	Fa · 60	15	15	60	11.25	18.75		
	PA	15	7.5	45	15	15		
	FP	15	0.0	45	15	15		
B (비대칭 직각 이음부)	Ua	18	0.0	40	5	5	5	15
	Ub · 22	18	6.0	22	5	5	5	5
	Ub · 40	18	6.0	40	5	5	5	10
	Ub · 51	18	6.0	51	5	5	5	15
	Uc	18	12.0	40	5	5	5	5
C (비대칭 경사 이음부)	Sa	18	0.0	50	5	17	14	20
	Sb	18	6.0	50	10	10	8	10
	Sc	18	12.0	50	10	10	8	10

여기서 T : 모재의 두께

a : 불용입부 길이

θ : 각장 각도(A그룹)

개선 각도(B그룹)

삼입판 각도(C그룹)

$L_1 \sim L_4$: 각장 및 용접부 크기

직각이음부 모델 5개 비대칭 경사이음부 모델 3개의 칫수를 나타내 주고 있다.

3.2 피로해석 순서 및 관계식

대표적 용접이음부의 피로해석을 위하여 다음과 같은 순서로 해석을 수행하였다.

- (1) 구조물의 모델링
- (2) 단위하중에 의한 정적 응력해석 수행
- (3) 하중 반복 형태 선정
- (4) 재료특성 계수값 선정
- (5) 피로해석 입력자료 작성 및 수행
- (6) 피로수명 선도 작성

이 해석에서는 범용구조해석 프로그램 NISA 2와 ENDURE를 사용하여 피로균열 발생수명을 계산하였다. 이론적 근거가 되는 대표적인 피로해석 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 그 밖의 응력수명 관계식과 평균응력 관계식은 프로그램 이론지침서⁷에 잘 나타나 있어 여기서는 생략한다.

$$\frac{\Delta\epsilon}{2} = \frac{\Delta\epsilon_e}{2} + \frac{\Delta\epsilon_p}{2} = \frac{\sigma_f}{E} (2N_f)^b + \epsilon_f (2N_f)^c$$

여기서 $\Delta\epsilon/2$: 전체 스트레인 폭

- σ_f : 피로강도 계수
- b : 피로강도 지수
- ϵ_f : 피로연성 계수
- c : 피로연성 지수
- E : 탄성계수
- N_f : 피로 사이클수

이 식은 저 사이클 피로 영역에서 국부반복 소성 스트레인이 피로손상에 영향을 미치게 되므로 국부소성 스트레인을 포함한 피로수명을 계산하는데 이용되며 탄성응력 상태만을 고려한 수명식보다 정확한 추정이 가능하다. 이 식에 사용된 미지수들은 Table 2에 나타나 있으며 대칭 직각이음부는 1번, 비대칭 이음부는 2번을 사용하였다. 이 값들은 구조물의 재질을 사용하여 재료시험에 의해 구해지며 실제 현장에서 사용되는 재질을 참고하여 결정하였다.

Table 2 $\epsilon-N$ 곡선에서 사용한 재료특성치의 계수값

재 질	ϵ_f	c	σ_f	b	E (N/mm ²)
1	0.15	-0.40	629.0	-0.09	207,000
2	0.76	-0.59	976.0	-0.14	206,000

3.3 유한요소 모델링 및 해석

하중전달형 T형 용접이음부를 2차원 평면-응력 모델로하여 모델링하였고 기하학적 형상이 급격히 변하는 부분과 응력의 급격한 변화가 예상되는 지점등에서는 미세요소로 세분하고 다절점 요소인 8절점 사각형 요소와 6절점 삼각형 요소를 사용하였다.

Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4는 각각 대표적인 대칭 직각이음부, 비대칭 직각이음부, 비대칭 경사이음부의 유한요소 모델의 요소 분할과 변형을 보여주고 있다. 여기서 보여주는 바와같이 응력 집중부인 토우부와 루우트부는 요소 분할을 세분하였고 불용입부는 동일 좌표값을 갖는 절점 번호를 이중으로 하여 균열과 같이 처리하였다. 응력 집중계수를 구하기 위해 정적하중은 단위하중을 사용 하므로

서 피로해석시 필요한 반복하중의 변화를 쉽게 할 수 있다. 피로해석시는 하중비, 즉 R 값을 영으로 하여 반복하중을 편진인장 싸인 곡선으로 하여 사용하였다. 반복하중의 최대치는 5Kg/mm²-35Kg/mm² 까지의 8단계로 하여 차례로 변화시켰다. 경계조건은 모델의 가장 밑단을 완전 고정시켰다. 또 비대칭 이음부의 경우는 모델 상단에서 X축 방향의 변위를 추가로 구속시켰다.

4. 수치해석 결과 및 고찰

4.1 응력분포 및 피로수명 분포

단위 인장하중을 모델의 상단에 가했을 때의 모델의 변형 형상 및 응력분포를 도식화 하였다. Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4는 각 모델의 대표적인 변형 형상을 보여 주었고 Fig. 5는 비대칭 직각이음부에 불용입부가 있는 Uc모델의 변형도를 보여주고 있다. Fig. 6은 역시 불용입부가 있는 비대칭 경사이음부 Sc모델의 변형도를 보여주고 있다. Fig. 7,8,9는 대칭 직각이음부에서 필렛용접상태, 부분 용입(Partial Penetration)상태, 완전 용입상태(Full Penetration)에서의 응력분포(Von Mises Stress)를 보여주고 있다. Fig. 10, 11은 완전 용입상태 및 부분 용입 상태의 비대칭 직각 이음부에서의 응력분포를 보여주고 있다. Fig. 12, 13은 비대칭 경사이음부에서 완전용입상태와 필렛용접의 응력분포를 보여주고 있다.

그리고 각 모델의 특성에 따른 20kg/mm²의 반복하중하에서의 피로수명 결과를 로그화 시켜 분

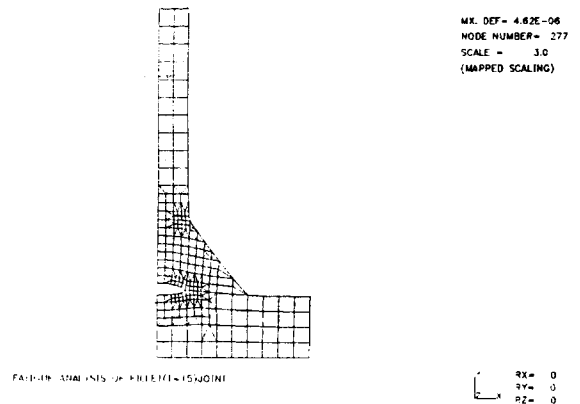


Fig. 2 대칭 직각이음부 Fa 모델 및 변형도

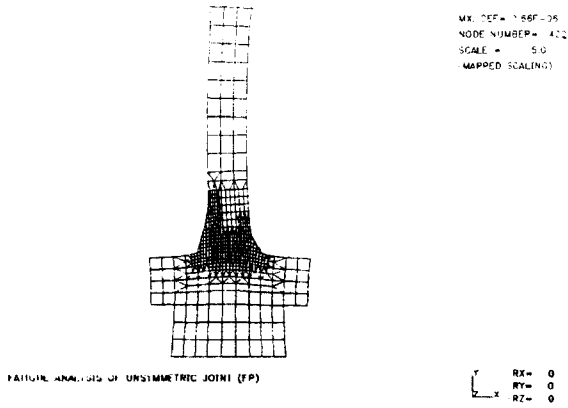


Fig. 3 비대칭 직각이음부 Ua 모델 및 변형도

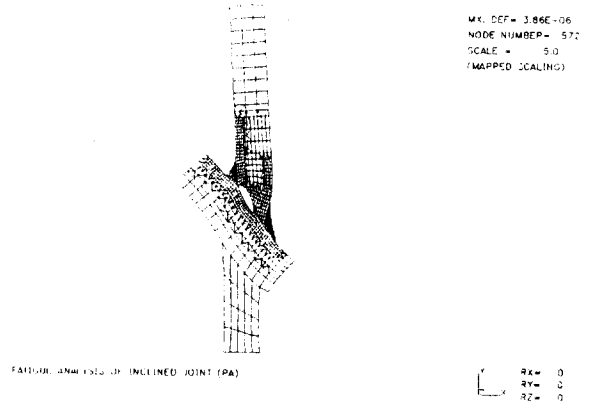


Fig. 6 비대칭 경사이음부 Sc 모델 및 변형도

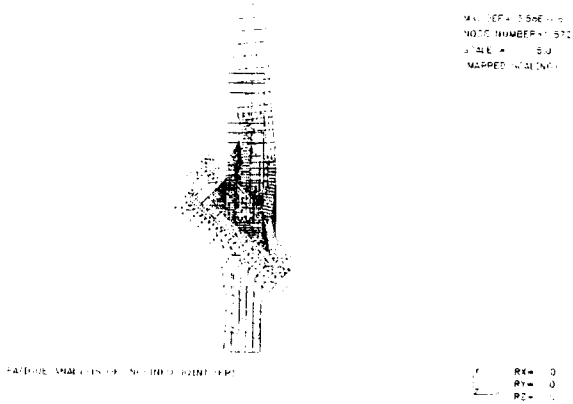


Fig. 4 비대칭 경사이음부 Sa 모델 및 변형도

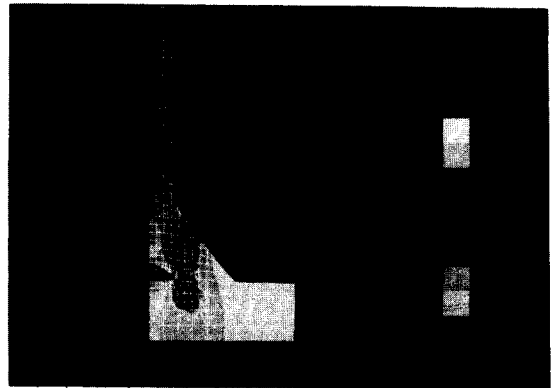


Fig. 7 대칭 직각이음부 Fa 모델의 응력 분포도

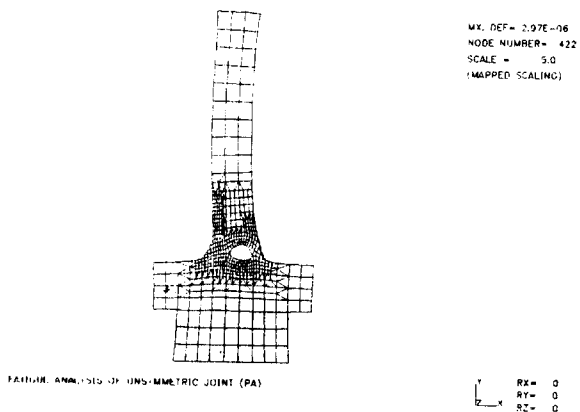


Fig. 5 비대칭 직각이음부 Uc 모델 및 변형도

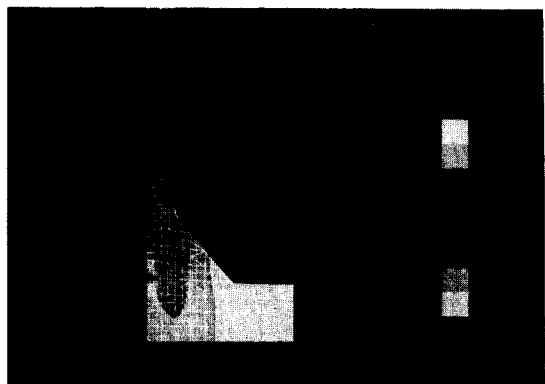


Fig. 8 부분 불용입 상태의 대칭 직각이음부의 응력분포

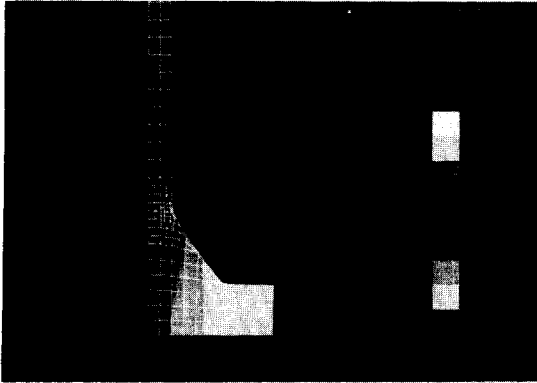


Fig. 9 완전 용입 상태의 대칭 직각이음부의 응력분포

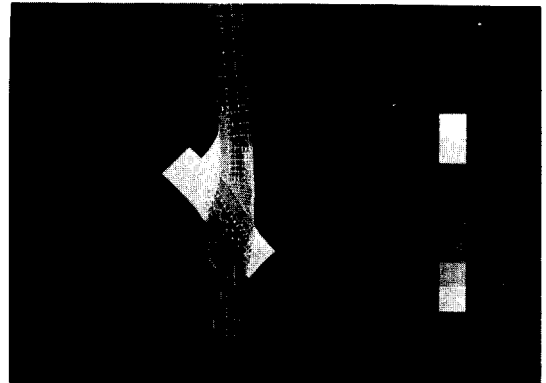


Fig. 12 완전용입된 비대칭 경사이음부의 응력분포

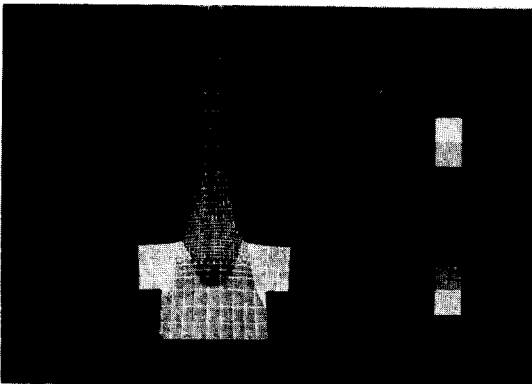


Fig. 10 완전 용입 상태의 비대칭 직각이음부의 응력분포

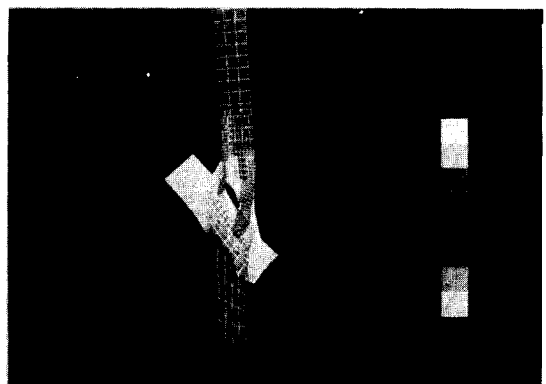


Fig. 13 필렛용접시의 비대칭 경사이음부의 응력분포

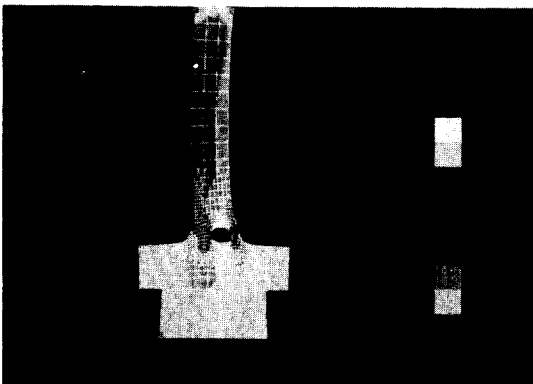


Fig. 11 부분 용입 상태의 비대칭 직각이음부의 응력분포

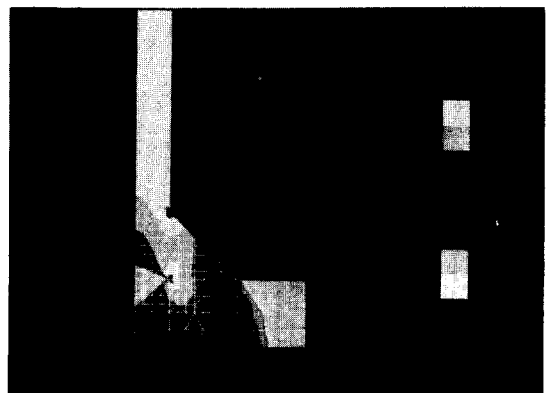


Fig. 14 필렛용접시 대칭 직각이음부의 피로수명 분포도

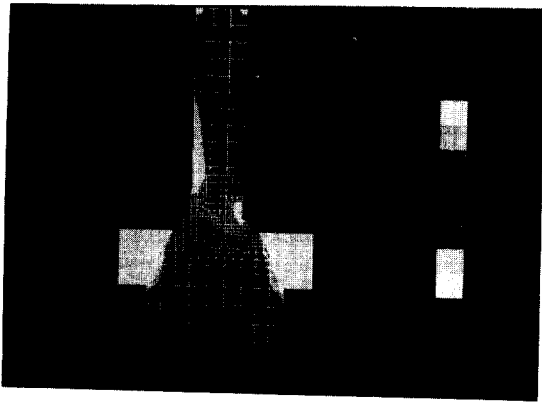


Fig. 15 완전용입된 비대칭 직각이음부의 피로수명 분포도

포도로 나타내었다. Fig. 14는 대칭 직각 이음부에서 필렛용접의 피로수명 분포도이고, Fig. 15는 완전 용입된 비대칭 직각이음부의 피로수명분포도이며, Fig. 16은 비대칭 경사 이음부의 완전 용입된 상태의 피로수명분포도이다. 이외 모든 케이스 별로 피로 수명을 구했으나 지면 관계상 생략하였다.

4.2 각 모델의 특성별 S-N 선도 비교

5kg/mm²~35kg/mm²까지의 반복하중을 가지고 각 모델의 특성에 따른 S-N 선도를 구하였다. 특성별 비교를 위하여 몇가지 그룹으로 나누어 S-N 선도를 X축을 로그 좌표화하여 작성하였다. 이 피로균열 발생수명 곡선들은 예상되었던 경향을 보이고 있으며 각 모델의 루우트부 및 토우부의 피로수명을 잘 나타내 주고 있다. Fig. 17은 대칭 직각이음부의 각장 변화에 따른 S-N 선도이고 Fig. 18은 각장 각도변화에 따른 S-N 선도이고, Fig. 19는 용접 용입부의 변화, 즉 필렛용접, 부분 용입용접, 완전용입 용접에 따른 서로 다른 S-N 선도를 보여주고 있고, Fig. 20은 비대칭 직각이음부의 필렛용접, 부분 용입용접, 완전 용입용접에 따른 토우부에서의 S-N 선도를 보여준다. Fig. 21은 비대칭 직각이음부의 개선 각도의 변화에 따른 S-N 선도이고, Fig. 22은 비대칭 경사이음부의 불용입부 길이의 변화, 즉 필렛용접, 부분 용입용접, 완전 용입용접에 따른 토우부에서의 S-N 선도이다. 그 밖의 모든 케이스 별 S-N 선도

도 지면 관계상 생략하였다.

4.3 해석결과 고찰

각 모델 그룹에서 최대 응력집중부인 토우부와 루우트부에서의 응력집중 계수값들이 Table 3에 정리되어 있다. 여기서 보면 대칭이음부 그룹에서의 필렛이음부에서는 각장비와, 필렛각도가 작을수록 응력값이 크다. 즉 각장비가 1.0에서 0.5로 될 때 응력이 약 50% 정도 증가함을 알 수 있다. 각장비는 피로강도에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 또 필렛 각도가 30°인 경우가 60°인 경우에 비해 약 40% 가까이 증가하지만 60°와 일반적으로 사용되는 45°인 경우를 보면 거의 비슷한 결과를 보여준다. 그리고 필렛이음부가 완전용입 용접부에 비해 응력 집중계수가 약 20% 정도의 차이를 나타내었다.

비대칭 이음부에서도 비슷하게 불용입부길이가 커짐에 따라 응력집중계수값이 증가하고 있고 Sc 모델에서는 루우트부에서 최대응력이 나타났다.

한편 최대 응력이 나타나는 토우부 또는 루우트부에서 최소 피로수명을 나타내었다. 대칭 이음부에서는 Fa.30, PA 모델이, 비대칭 이음부에서는 Sb 모델이 토우부가 루우트부 보다 더 수명이 짧았고 그외는 모두 루우트부에서 최소수명을 나타내었다. 일반적으로 불용입부의 길이가 길수록, 각장이 작을수록, 용접부가 작을수록, 토우부에서의 용접 각도가 클수록 피로수명이 짧다. Fig. 18, 19에서 보는 바와같이 각장비를 잘 선택하면 공수

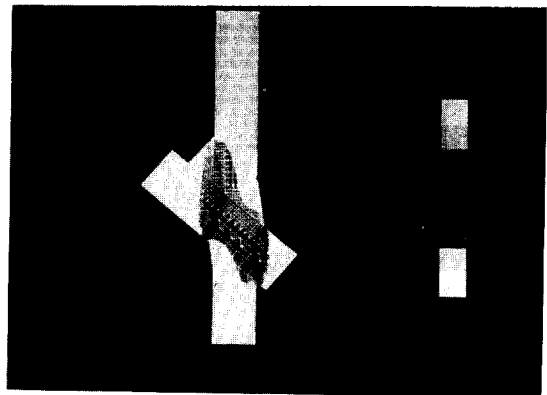


Fig. 16 완전용입된 비대칭 경사이음부의 피로수명 분포도

가 많이 들어가는 용입 용접을 필렛용접으로 대체할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 비대칭 이음부 그룹에서는 불용입부의 크기가 커짐에 따라 응력 집중 계수가 크게 증가하고 Fig. 20, 22에서 보는 바와 같이 피로수명도 크게 차이가 나므로 필렛용접이 완전 용입용접이나 부분 용입용접을 대체하기에는 대칭 직각이음부 보다는 위험이 있다는 결론을 얻게 된다. 이번 연구에서 선택한 3가지의 용접형태는 현장에서 많이 사용되는 것으로 유사한 형태의 용접이음부의 피로수명 예측에 사용될 수 있다.

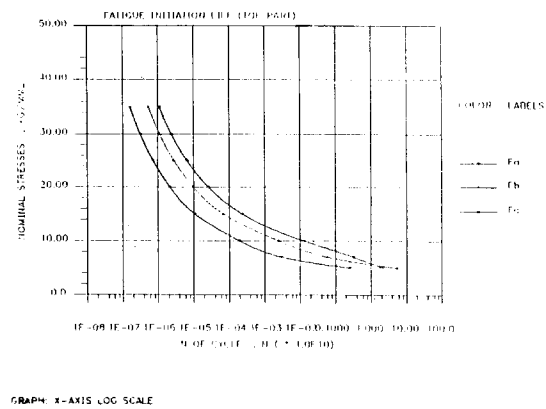


Fig. 17 대칭 직각이음부 Fa, Fb, Fc, 모델의 토우부에서의 S-N 선도

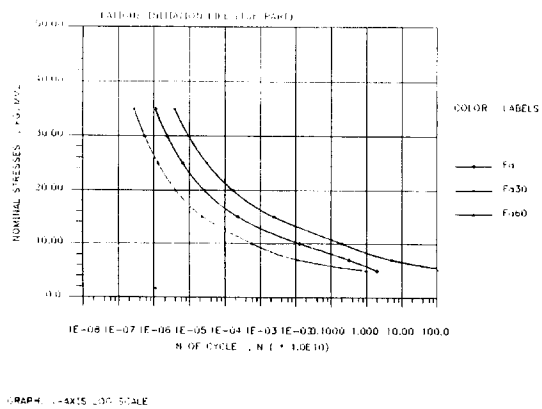


Fig. 18 대칭 직각이음부 Fa, Fa.30, Fa.60 모델의 토우부 S-N 선도

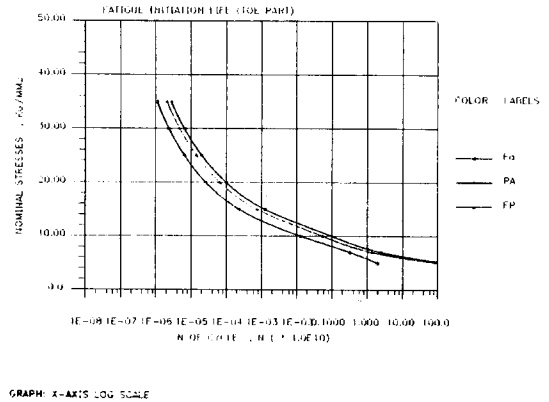


Fig. 19 대칭 직각이음부 Fa, PA, FP 모델의 토우부 S-N 선도

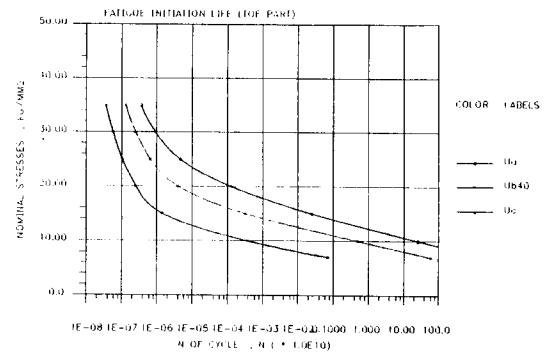


Fig. 20 비대칭 직각이음부 Ua, Ub.40, Uc 모델의 토우부 S-N 선도

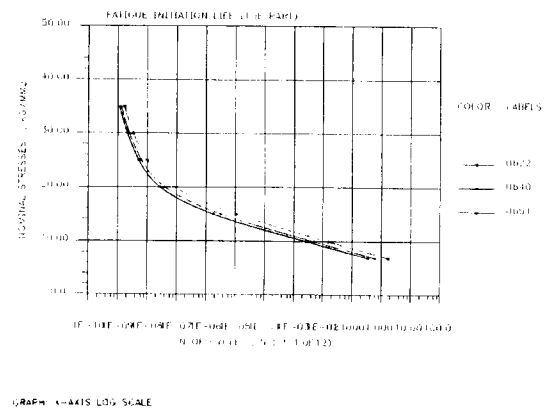
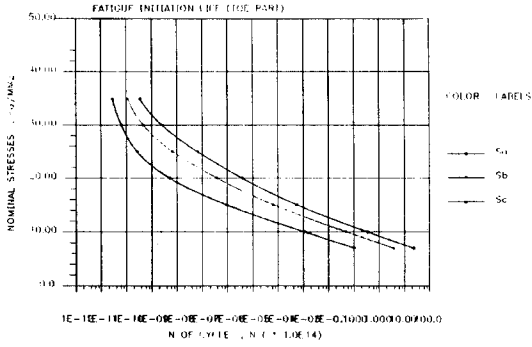
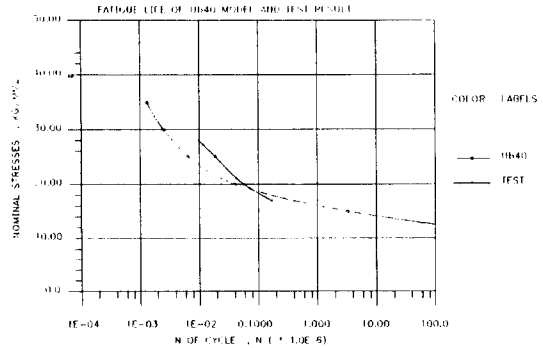


Fig. 21 비대칭 직각이음부 Ub.22, Ub.40, Ub.51 모델의 토우부 S-N 선도



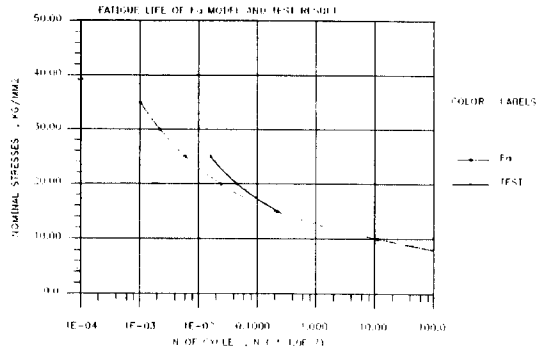
GRAPH: X-AXIS LOG SCALE

Fig. 22 비대칭 경사이음부 Sa, Sb, Sc 모델의 토우부 S-N 선도



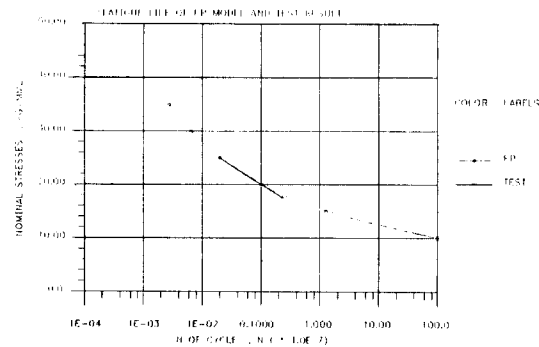
GRAPH: X-AXIS LOG SCALE

Fig. 25 비대칭 직각이음부 Ub.40 모델의 해석과 시험치와의 S-N 선도 비교



GRAPH: X-AXIS LOG SCALE

Fig. 23 대칭 직각이음부 Fa 모델의 해석과 시험치와의 S-N 선도 비교



GRAPH: X-AXIS LOG SCALE

Fig. 24 대칭 직각이음부 FP 모델의 해석과 시험치와의 S-N 선도 비교

Table 3 각 모델에서의 토우부와 루우트부의 응력집중계수

모 델	응력 집중 계수		최대 응력부
	토우부	루우트부	
Fa	2.69	2.33	토우부
Fb	3.27	2.84	"
Fc	4.22	3.67	"
Fa.30	3.59	2.75	"
Fa.60	2.53	2.20	"
PA	2.33	1.20	"
FP	2.20	-	"

모 델	응력 집중 계수		최대 응력부
	토우부	루우트부	
Ua	2.68	-	토우부
Ub.22	3.18	2.13	"
Ub.40	3.39	2.09	"
Ub.51	3.15	2.08	"
Uc	5.06	3.43	"

모 델	응력 집중 계수		최대 응력부
	토우부	루우트부	
Sa	1.92	-	토우부
Sb	2.14	1.67	"
Sc	2.69	3.55	루우트부

Table 4 피로수명 사이클의 해석결과와 시험 결과의 비교

반복공칭응력 (kg/mm ²)	피로수명 (사이클 수)	
	Ub.40 모델	실험결과
5	0.6016E12	
10	0.4947E10	
15	0.3246E7	
17		0.1690E6
20	0.3968E5	0.5728E5
25	0.6408E4	0.1863E5
28		0.9780E4
30	0.2470E4	
35	0.1313E4	

반복공칭응력 (kg/mm ²)	피로수명 (사이클 수)	
	Fa 모델	실험결과
5	0.2702E10	
10	0.1099E9	
15	0.2060E7	0.2300E7
17.5		0.9500E6
20	0.2340E6	0.6400E6
25	0.5888E5	0.1620E6
30	0.2190E5	
35	0.1010E5	

5. 수치해석과 시험과의 비교 고찰

수치해석 결과와 시험 결과를 비교하기 위해서 현대중공업 종합연구소에서 이미 실시한 필렛용접된 대칭 직각이음부 모델(Fa)과 완전 용입된 대칭 직각이음부 모델(FP) 및 부분용입된 비대칭 직각이음부 모델(Ub.40)의 모형시험결과를 사용하였다.

이 모델들의 피로시험 결과를 수치해석에서 얻은 피로수명 선도(S-N 선도)위에 다시 그려 비교 검토 하였다. 수치해석과 모형 시험과의 차이는 일반적으로 용접부의 정확한 모델링이 불가능하고, 용접시의 잔류응력 및 미세한 용접결함등에 의한 국부응력과, 용접 시공시 및 테스트시 발생하는 편차에 의한 해석모델과의 차이, 피로 균열 전파와 관련한 상호효과가 고려되지 않는 등 다수의 문제점에 기인하는 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서는 근사한 비교결과를 얻을 수 있었다. Fig. 23에서는 필렛용접된 대칭 직각이음부 모델(Fa)의 수치해석 결과와 시험치와의 S-N 선

도 비교를 보여주고 있으며 해석 결과와 시험 결과가 유사함을 알 수 있다. Fig. 24는 완전 용입하여 용접한 대칭 직각이음부 모델(FP)의 수치해석 결과와 시험치와의 S-N 선도 비교를 보여주고 있는데 좋은 일치를 보여주고 있다. 이 모델은 완전 용입하여 용접한 경우이며 필렛용접 경우보다 훨씬 수치 해석이 실제 현상을 정확히 나타내줄 수 있음을 보여주고 있다. Fig. 25는 부분 용입된 비대칭 직각이음부 모델에 대한 수치해석과 시험치와의 비교를 보여주고 있다. 전자의 2가지 경우와 비교하여 볼 때 비교적 큰 차이를 보여주고 있다. 즉 비대칭 이음부경우에 수치해석적으로 피로강도를 평가하는 것은 다른 경우보다 부정확한 결과를 줄 수 있다는 사실을 보여주고 있다. Table 4는 각 경우의 피로 수명의 해석과 시험결과치를 보여주고 있다.

기본적으로 많은 시험 장비와 인력이 필요한 시편 테스트에 의한 방법을 채택하는 것은 매우 비경제적이기 때문에 특별한 경우를 제외하고 손쉽게 접근할 수 있는 수치해석 방법이 초기단계에서는 용접부의 피로수명 추정에 효과적으로 사용될 수 있다는 것을 이번 수치해석과 시험 결과와의 비교 고찰을 통해서 얻을 수 있는 결론이라 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 필렛용접, 완전 용입용접, 부분 용입용접이음부의 특성 규명을 위하여 수치해석 방법을 적용한 해석을 포괄적으로 수행하였으며 기 수행된 시험결과와의 비교 검토도 수행하였다. 여기서 사용된 파라미터는 불용입부의 길이, 각장비, 각장각도, 삽입관의 각도등이며 이 파라미터의 변화에 따른 용접 이음부의 응력분포 및 피로강도를 구했고, S-N 선도를 작성하여 그룹별로 비교 검토하였다.

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 용접이음부의 피로강도 수명은 불용입부의 길이가 길수록, 각장이 짧을수록, 토우부에서의 용접각도가 클수록 감소하며, 여러 경우를 비교 검토한 각종 도표는 일반적으로

실제 용접에 대한 지침으로 활용할 수 있다.

- (2) 대칭 용접이음부의 경우는 공수가 많이 들어가는 부분 용입용접 또는 완전 용입용접 과정을 줄이고 생산성을 향상시키기 위해서 각장비를 적절히 선택하여 필렛용접으로 이를 대체시켜도 응력분포와 피로수명 관점에서 큰 문제가 없는 것으로 나타났으며 비대칭 용접이음부에서는 필렛용접을 용입용접으로 대체시킬시에는 주의가 필요하다.
- (3) 각종 용접이음부의 응력집중, 피로수명등을 초기 단계에서 규명할 때는 기본적으로 많은 시험장비와 인력을 필요로 하는 시편 테스트에 의한 방법보다 수치해석을 통한 방법이 유용한 수단이다. 실제 양자에 의한 결과를 비교검토해 봄으로써 이를 입증하였다.

참 고 문 헌

1. Masubuchi, Koicho, "Analysis of Welded

Structure", Pergamon Press, 1980.

- 2. 강봉용, "The Applicability of Fillet Weld in Deck Structure of Offshore Platform", 현대중합연구소 연구보고서, H920-6-120, 1990.
- 3. Almar-Nass, A., "Fatigue Handbook", Tapir Publishers, 1985.
- 4. Bathe, K.J., Wilson, E.L., "Numerical Methods in Finite Element Analysis", Prentice-Hall, 1976.
- 5. 조규남, "해양구조물의 스펙트럴 피로해석에 대한 고찰", 한국해양공학회지, 제4권 제2호, 1990.
- 6. Vught, J.H., Kinra, R.K., "Probabilistic Fatigue Analysis of Fixed Offshore Structures", Proceedings of Offshore Technology Conference 2608, 1976.
- 7. User's Manual for NISA Program, Engineering Mechanics Research Corporation, 1990.
- 8. 박동환, 윤중근, "부분 용입된 비대칭 T 용접부의 강도 및 변형에 미치는 용접순서의 영향", 기술현대 Vol.6, No.3, 1986.

(접수일자 : 1993. 4. 13)