

용접구조물의 부식피로수명에 미치는 용접부 개선처리 효과

임성우* · 장인화* · 김상식** · 송하철***

*포항산업과학연구원 강구조연구소

**경상대학교 나노신소재공학부

***국립목포대학교 기계선박해양공학부

Effect of Weld Improvement on the Corroded Fatigue Life of Welded Structures

SUNG-WOO IM*, IN-HWA CHANG*, SANGSHIK KIM** AND HA CHEOL SONG***

*Research Industrial Science and Technology, Gyunggi, Korea

**Gyeongsang National University, Jinju Korea

***Mokpo National University, Jeon Mokpo Korea

KEY WORDS: Corroded fatigue life 부식피로수명, Weld improvement 용접부 개선처리, Toe grinding 토우 그라인딩, Weld profiling 용접 프로우파일링, TIG dressing TIG 드레싱, API 2W Gr.50T steel plate API 2W Gr.50T 후판

ABSTRACT: The effect of weld improvement on the corroded fatigue life of welded structures was investigated. Toe grinding, TIG dressing and weld profiling were used as the geometric improvement methods. Fatigue tests under the corroded condition in artificial seawater were carried out to investigate the corrosion fatigue behavior of API 2W Gr.50T steel plate produced by POSCO. The test results in weld improved conditions were compared with those in as-welded condition. The test results were also compared with the design curves in UK DEn Class F. Corroded fatigue life of weld improved specimens was longer than that of as-welded specimen. Especially, the corroded fatigue life exceeded the mean SN curve in air of UK DEn Class F.

1. 서 론

해양구조물은 해수환경에 노출되어 있으므로 도장과 희생양극에 의한 전기방식 등으로 방식을 한다. 방식처리가 유효할 경우에는 해양구조물의 피로강도는 대기 중의 피로강도와 동등 수준이나, 주위 환경 및 구조물의 응력 분포 등으로 인한 도장이 손상되거나 충돌 등으로 인해 방식장치의 손상이 발생되면 해수환경에 노출된 해양구조물은 피로강도가 저하한다. 부식환경 하에서는 피로를 받는 부위에서의 부식과 그 부분에서의 피로가 상승효과를 일으켜 피로균열이 대기 중에 비하여 조기에 발생한다. 최소 20년 이상 피로수명을 보장해야 하는 해양구조물의 경우 해수부식환경 하에서의 피로강도는 해양구조물 설계에서 매우 중요한 설계인자 중의 하나이다. 따라서 단순히 대기 중의 피로강도를 고려하여 부식될 두께만큼 부재의 단면 크기를 키우는 것보다 해수부식 환경에서 피로수명을 향상시킬 수 있는 방안을 강구할 필요가 있다.

해양구조물의 피로균열은 응력 집중이 높은 용접부에서 주로 발생된다. 용접 지단부에 토우 그라인딩(Toe grinding), 햄머 피닝(Hammer peening), 용접 프로우파일링(Weld profiling) 등과 같은 용접부 개선처리(Weld improvement)방법을 적용해

서 해양구조물의 피로수명을 향상시키려는 많은 연구가 진행되어 왔다 (Kirhope et al., 1999). 최근에는 점 가열(Spot heating) 과 초음파 충격처리(Ultrasonic impact treatment) 등 다양한 용접부 개선처리 방법들이 연구 되고 있다 (Park et al., 2006; Ummenhofer and Weich, 2007). 이러한 용접부 개선처리 방법들이 해수부식 환경에서도 효과적인지는 아직까지 연구가 부족한 실정이다. 용접부 개선처리가 대기 중의 피로수명 향상과 같은 효과를 해수부식 피로에서도 얻을 수 있는지에 대한 연구가 필요하다.

해수부식피로 관련해서는 490MPa급 TMCP 강재에 대한 인공해수 중의 피로실험에 대해서 많은 연구가 진행되어 왔다. 대부분의 연구가 용접부 시험체에서의 대기 중과 인공해수 중의 피로수명 비교에 초점을 맞추고 있다 (Kobatyashi et al., 1998; Yajima et al., 1985). 또한 Tubular joint와 같은 구조물에 대한 인공해수 중에서 피로실험에 관한 연구도 수행되고 있다 (Murphy et al., 1997). 그러나 아직까지 용접부 개선처리에 대한 체계적인 연구는 부족하다 (Hara et al., 1986).

본 연구에서는 API 2W GR50T 강재로 십자형 용접부 시험체를 제작하여 부식이 않된 상태와 인공해수 부식된 상태에서 피로실험을 수행하였다. 시험체는 인공 해수용액으로 염수 분무 시험을 통해 인공적으로 가속부식을 시켰다. 용접부 개선처리가 피로수명에 미치는 영향을 보기 위해서 용접 지단부를 토우 그라인딩, TIG 드레싱(TIG dressing) 및 용접 프로우파일

교신저자 임성우: 경기도 화성시 동탄면 영천리 79-5

031-370-9545 swim@rist.re.kr

링하였다. 또한 용접부 개선처리와 용접잔류응력과의 관계를 검토하였다. 피로실험결과는 UK DEn SN 선도와 DnV SN 선도와 비교하였다.

2. 실험방법

2.1 실험체

피로실험에 사용된 강재는 해양구조물의 Hull 부위에 사용되는 API 2W GR50T이다. API 2W GR50T 강재는 저온에서의 충격 인성을 개선하기 위해서 개발된 TMCP 강재이다. Table 1은 API 2W GR50T 후판 강재의 화학성분을 나타낸다. 여기서 Ti과 Cu는 부식속도를 저감하는 역할을 한다.

Fig. 1에서 보는 것처럼 비하중 전달형 필릿용접 십자형 시험체 (Non-load-carrying fillet welded cruciform joint)로 대기 중 및 인공해수 부식된 상태에서 피로실험을 하였다. 십자형 시험체는 25mm 후판을 CO₂ 용접을 한 다음, 각각 시험체 크기로 절단한 후 최종 시험체 형상으로 밀링가공하여 제작하였다.

Fig. 2는 필릿용접 지단부를 나타낸다. 여기서 AW는 용접 그대로(As-welded), TG는 토우 그라인딩, TD는 TIG 드레싱, WP는 용접 프로우파일링을 의미한다. 토우 그라인딩과 TIG 드레싱 및 용접 프로우파일링은 용접부 형상을 개선해서 피로강도를 향상시키는 가장 보편적인 개선법이다. 토우 그라인딩은 용접 지단부에 존재하는 함유물이나 언더컷(Undercut)을 제거하기 위해서 부재를 0.5-1.0mm 깊이로 그라인딩한다. TIG 드레싱은 재용융을 통해서 용접 지단부의 형상을 개선한다. 이때 재용융 금속 내에 기공이나 불균일성이 발생되지 않도록, 재용융하기 전에 용접금속과 모재를 청결하게 해야 한다. 용접 프로우파일링은 다중 용접에 있어 응력집중이 발생되지 않도록 전체 용접 형상을 완만하게 조절하는 개선법이다.

Table 1 Corrosion rate of API 2W GR50T steel plate

Thickness(mm)	Heat analysis (wt.%)									
	C	Mn	Si	Nb	Ti	Al	Cr	Cu	Ni	
25	0.08	1.44	0.25	0.01	0.12	0.03	0.02	0.23	0.22	

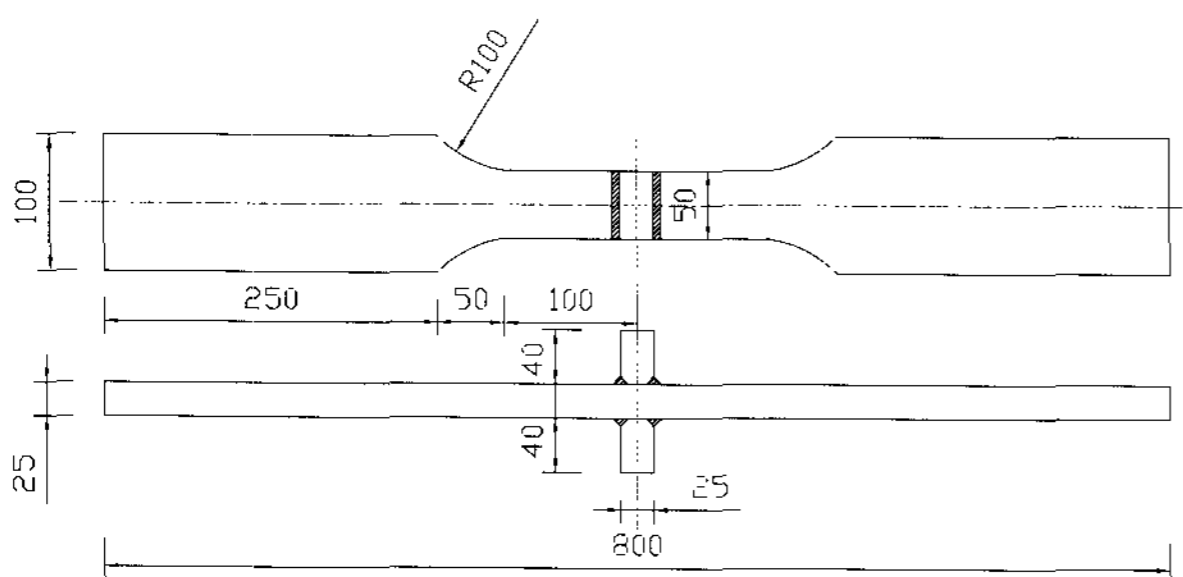


Fig. 1 Non-load-carrying fillet welded cruciform joint

해수부식 피로시험체는 인공 해수용액으로 염무 분무 시험을 통해 인공적으로 1년 부식, 5년 부식, 10년 부식시켰다. 인공 가속 부식에 대해서는 3.2.1절 인공부식에서 자세히 언급한다.

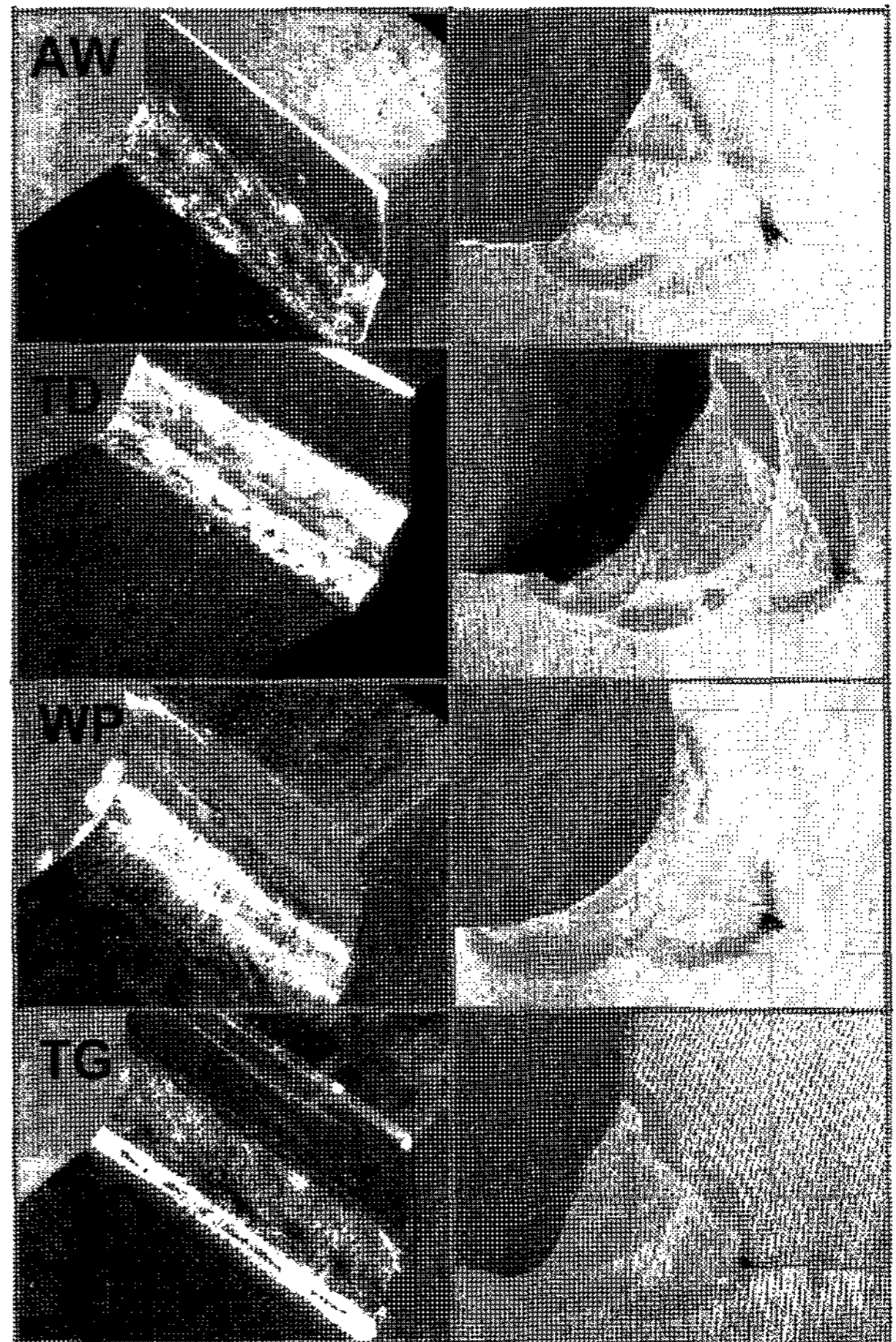


Fig. 2 Weld improved joints

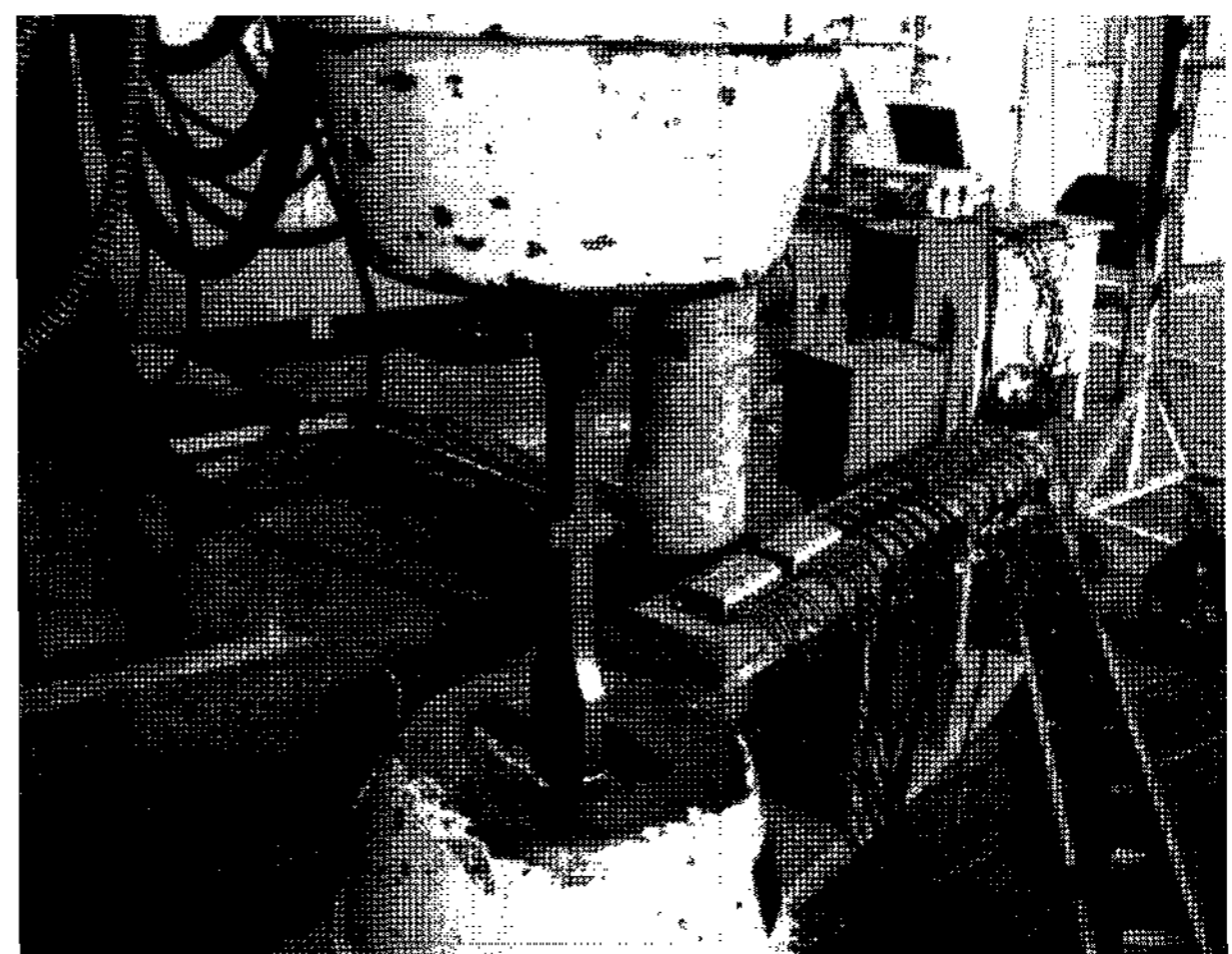


Fig. 3 Test setup

2.2 실험방법

대기 중 및 해수부식된 상태에서 피로실험은 하중비 R=0.1 조건 하에서 주파수 9~15Hz로 980kN 피로시험기를 이용해서 수행하였다. 해수부식 피로시험은 시험체를 부식시킨 상태에서 대기 중에서 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 대기 중의 피로

3.1.1 잔류응력

용접부 개선처리가 피로수명에 미치는 영향을 검토하기 위해서 용접부 잔류응력을 계측하였다. 용접부 잔류응력 계측방법은 크게 파괴적 시험법과 비파괴적 시험법으로 대별된다. Hole drilling 방법이나 절단법으로 대표되는 파괴적 시험법은 시험이 파손되기 때문에 비용이 많이 들고, 용접부 잔류응력을 계측한 시험체와 피로실험에 사용되는 시험체가 서로 상이하게 되는 단점이 있다. 비파괴적 시험법은 시험체를 파괴하지 않으므로 비용적 측면에서 유리하나 대부분의 계측장비가 고가이다. 본 실험에서는 Fig. 4에서 보는 것처럼 X선 회절 분석기(XRD)를 이용해서 잔류응력을 측정하였다.

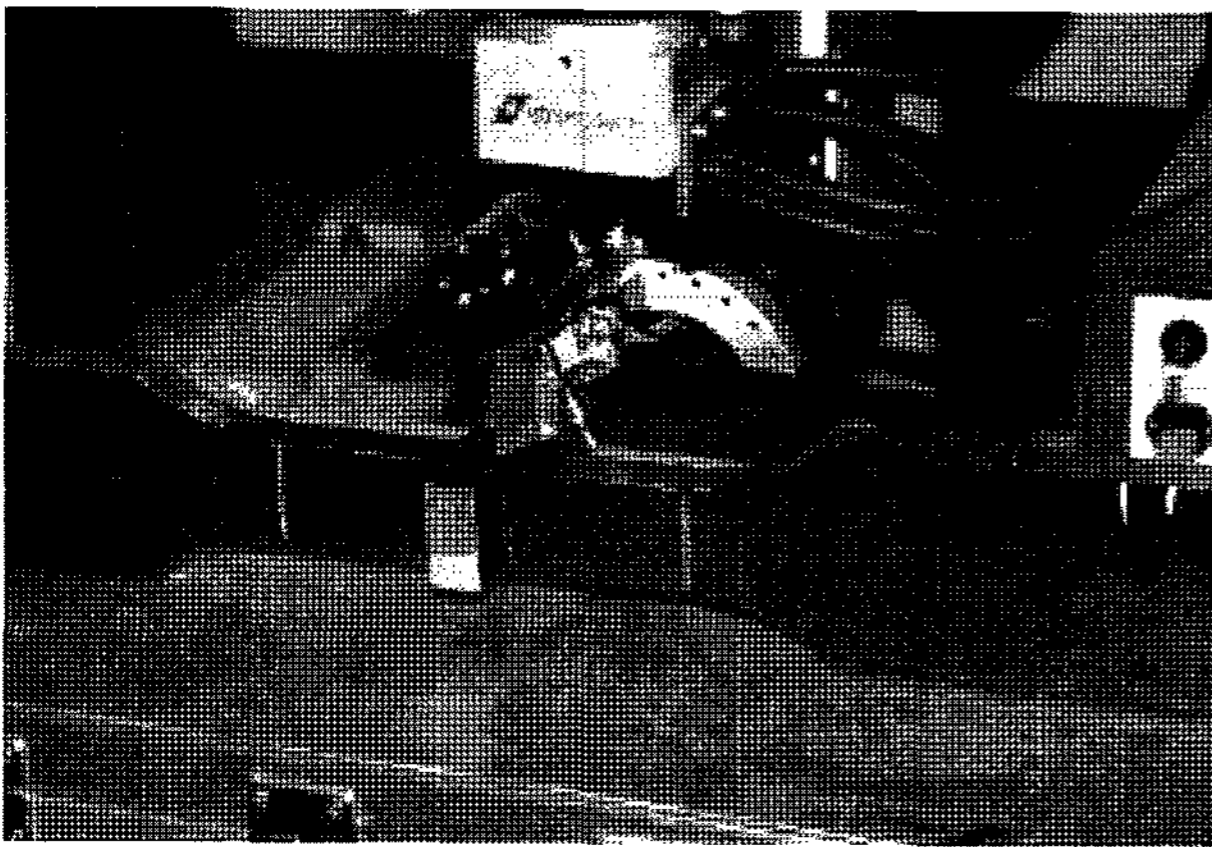


Fig. 4 XRD equipment

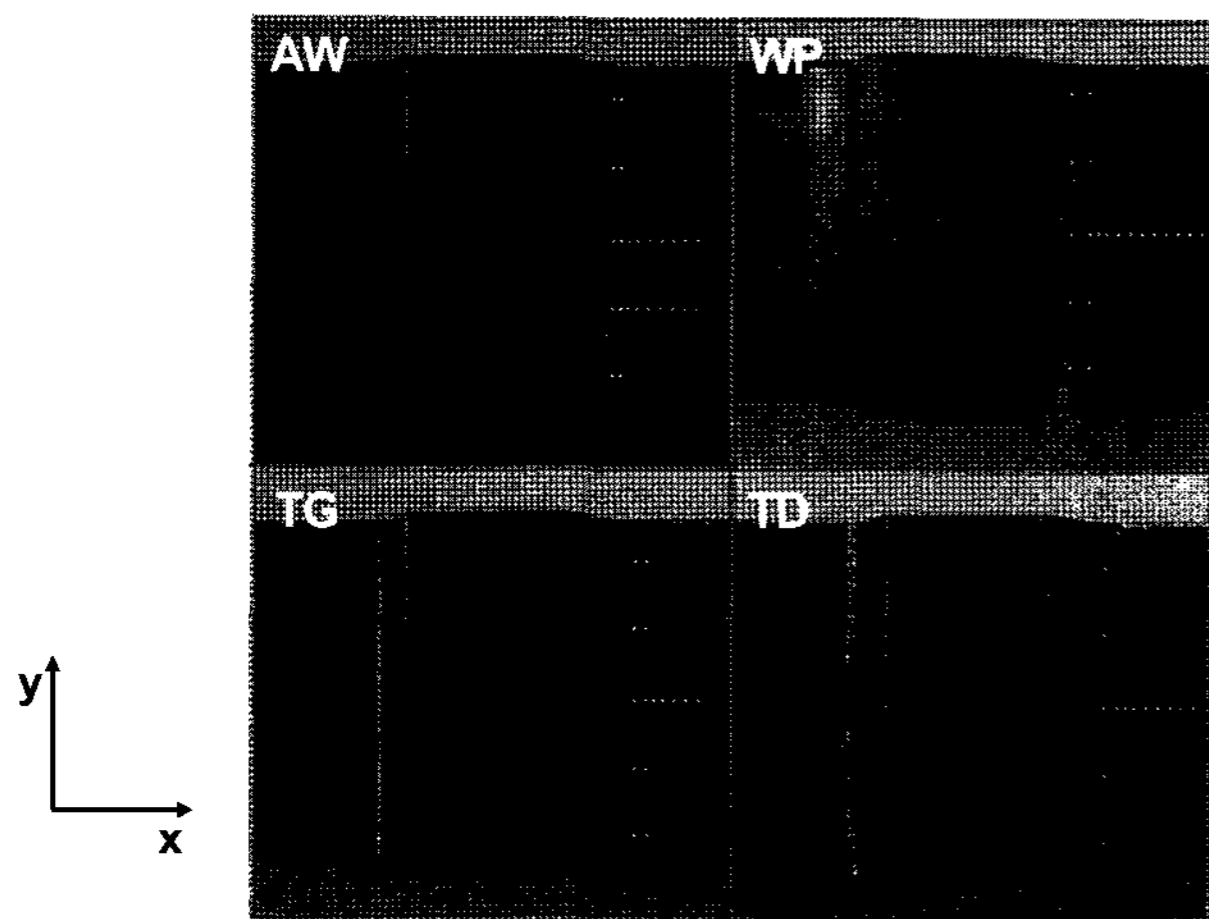


Fig. 5 Measurement of residual stresses

Fig. 5의 흰 점들은 잔류응력 측정위치를 나타낸다. 잔류응력은 용접 지단부에서 시험체 길이 방향으로 (x 방향), 시험체 폭 방향 (y 방향)으로는 용접 지단부와 비드 위에서 측정하였다. 토우 그라인딩의 경우 각각 그라인딩과 피닝 홈 단부를 용접 지단부로 간주하였다. Fig. 6은 용접 지단부에서 시험체 길이 방향으로의 잔류응력 σ_x 의 변화를 나타낸다. AW 시험체의 경우 Toe 부분에서 항복응력 수준의 인장잔류응력이 발생되고, Toe부로부터 약 9mm 인근에서 인장잔류응력은 압축잔류응력으로 천이되고 있다. TD 시험체에서는 TIG 드레싱으로 인한 잔류응력 이완현상이 나타나고 있다. WP 시험체와 TG 시험체에서는 용접잔류응력이 아닌 기계가공으로 인한 표면 잔류응력이 계측된 것이다. 이 경우에 있어서 피로수명 향상은 잔류응력보다는 용접부 기하학적 형상 개선에 의한 효과에 기인할 것으로 예상된다.

3.1.2 피로수명

Fig. 7은 AW 시험체의 피로강도와 UK DEn 설계곡선을 비교한 것이다. 비하중 전달형 필릿용접 십자형 시험체는 F 등급

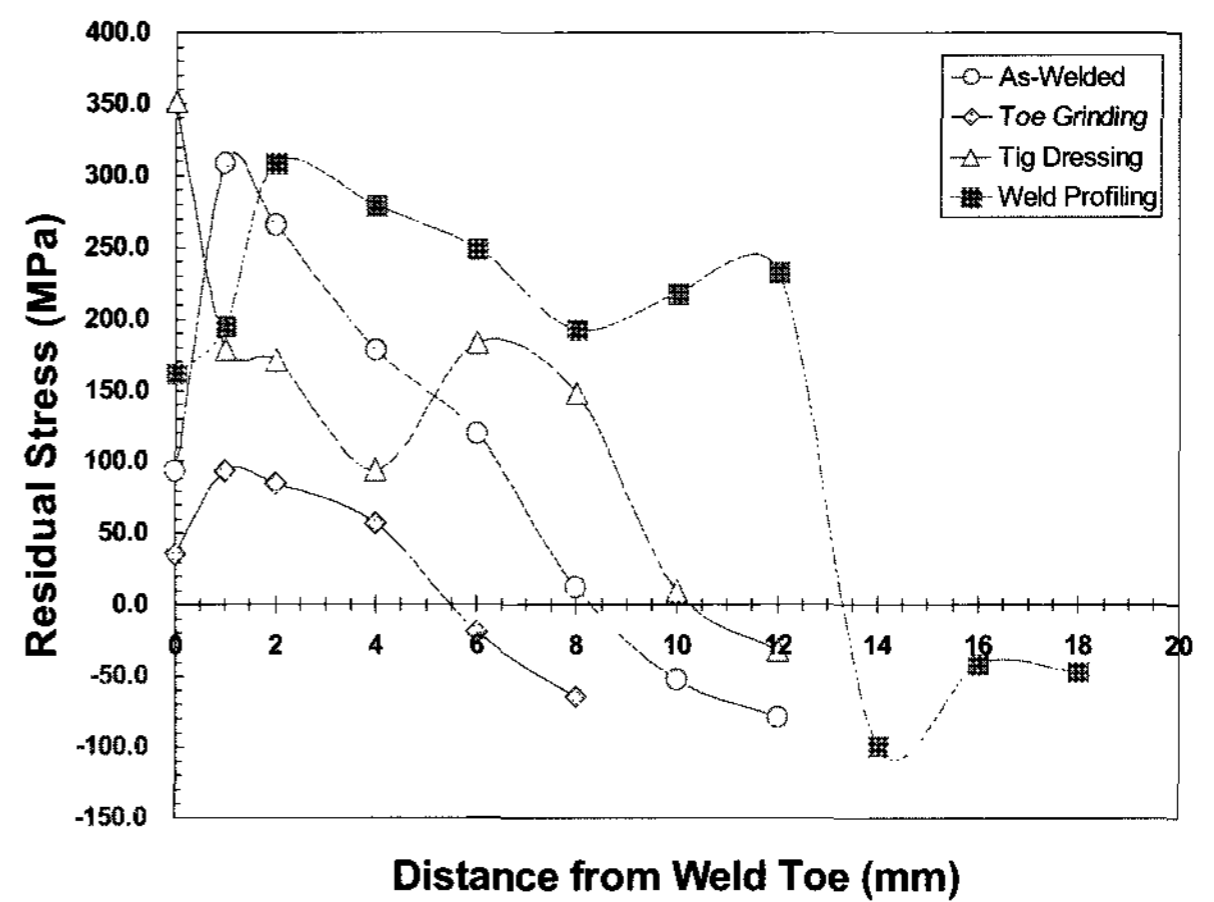


Fig. 6 Effect of weld improvements on residual stresses

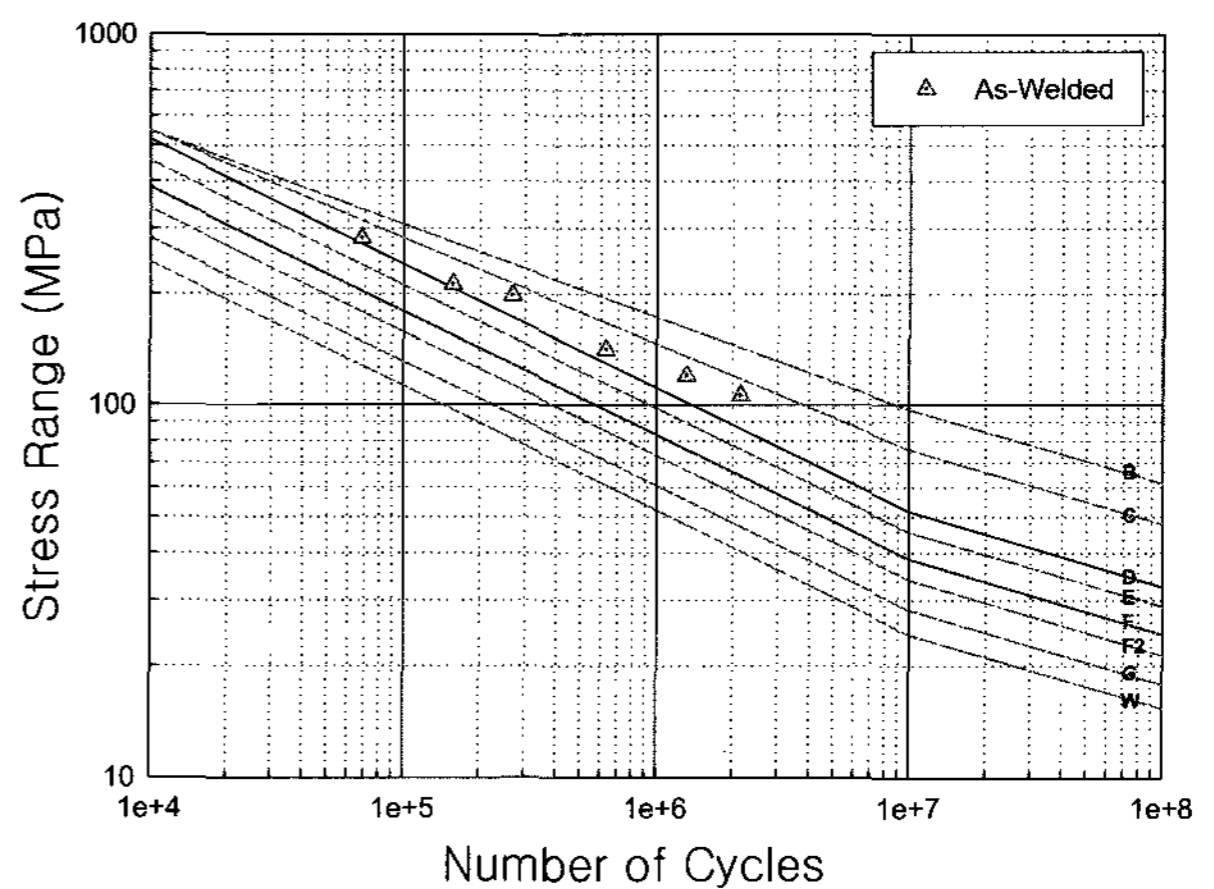


Fig. 7 Design curves of UK DEn 97.6% probability of survival

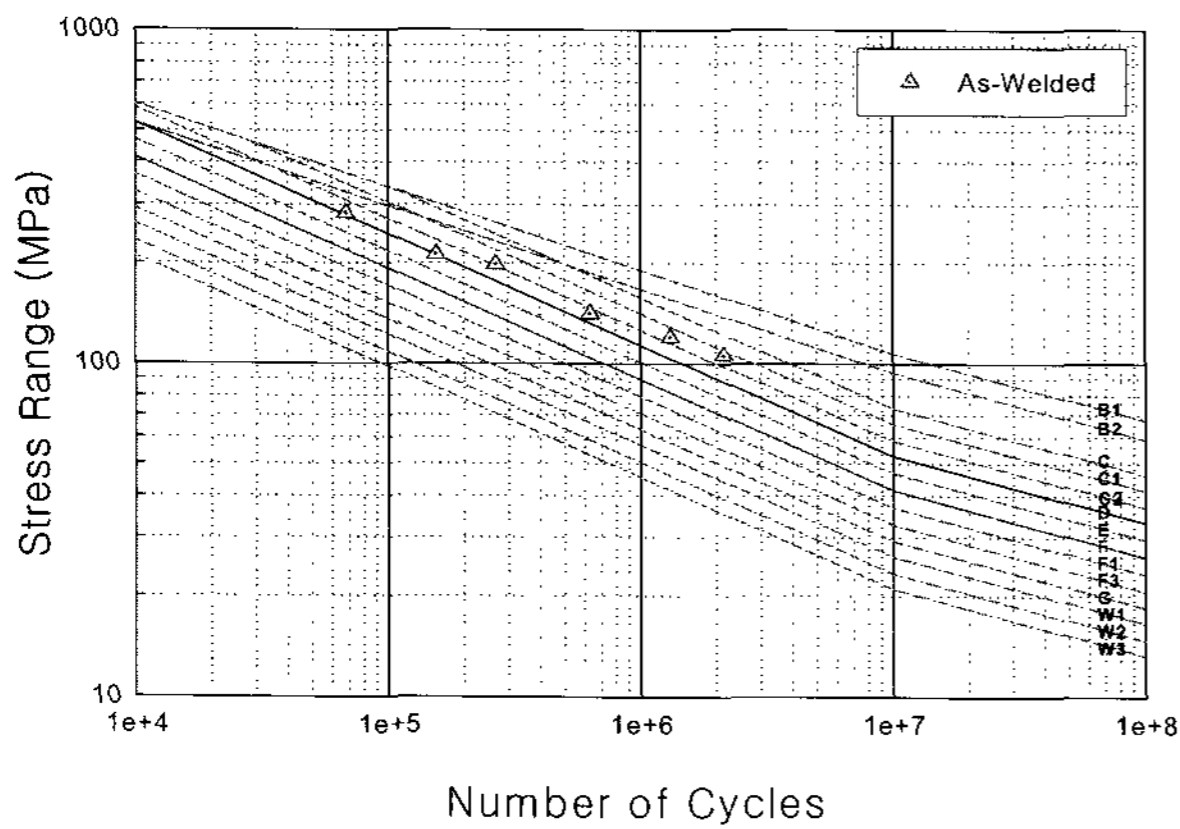


Fig. 8 Design curves of DnV RP C203 97.6% probability of survival

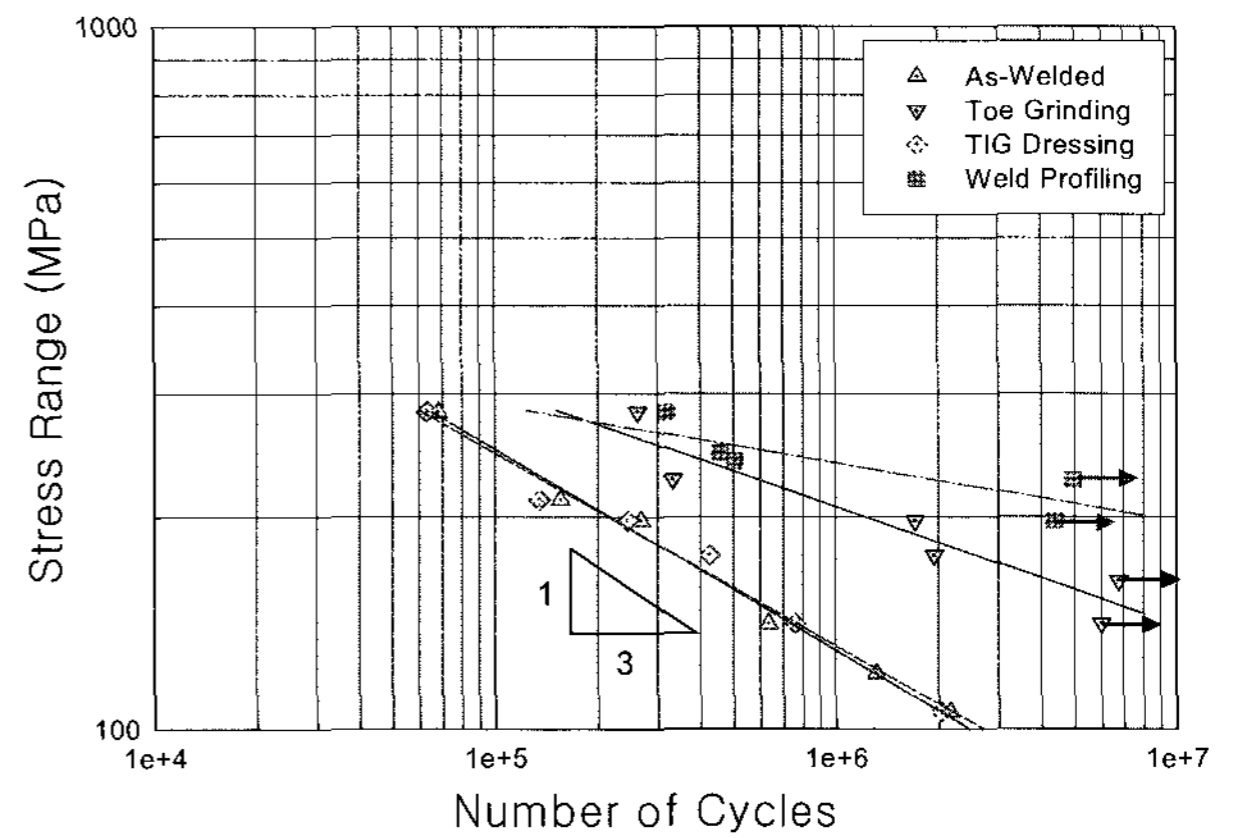


Fig. 10 Effect of weld improvements on fatigue life negative inverse slope of SN curves

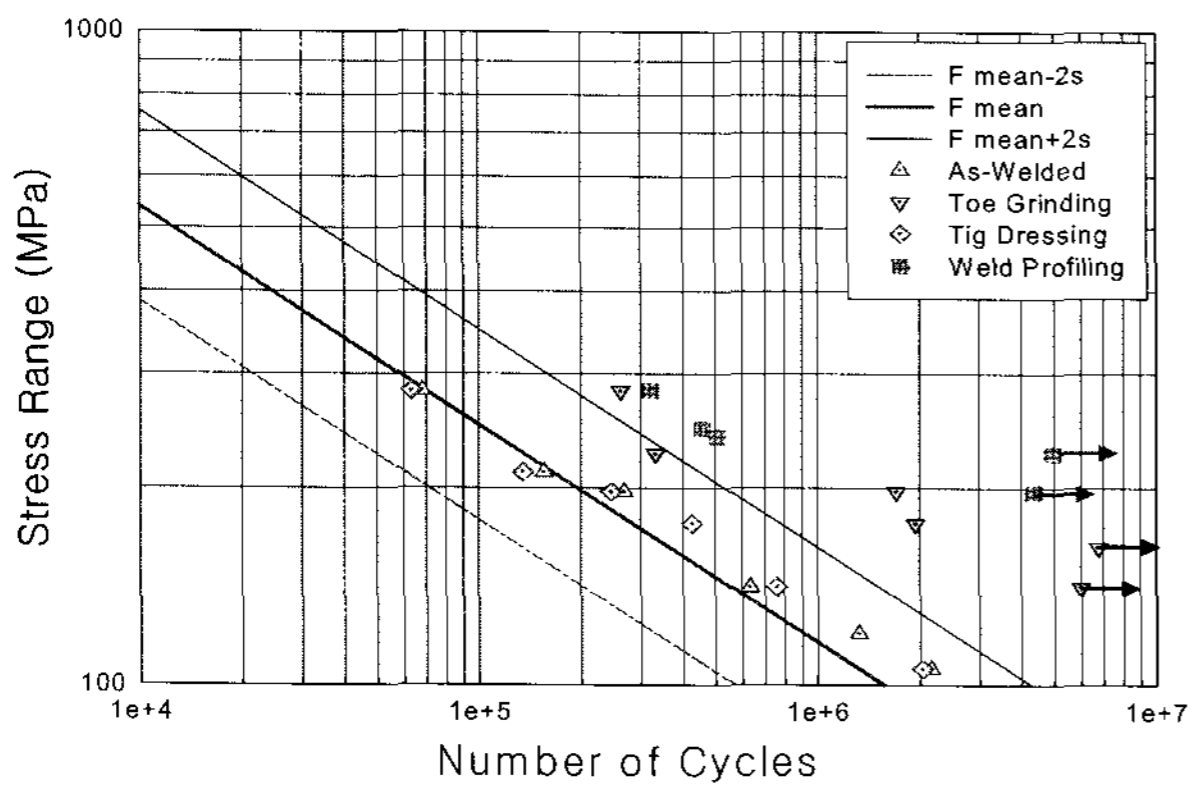


Fig. 9 Effect of weld improvements on fatigue life SN curves of UK DEn class F

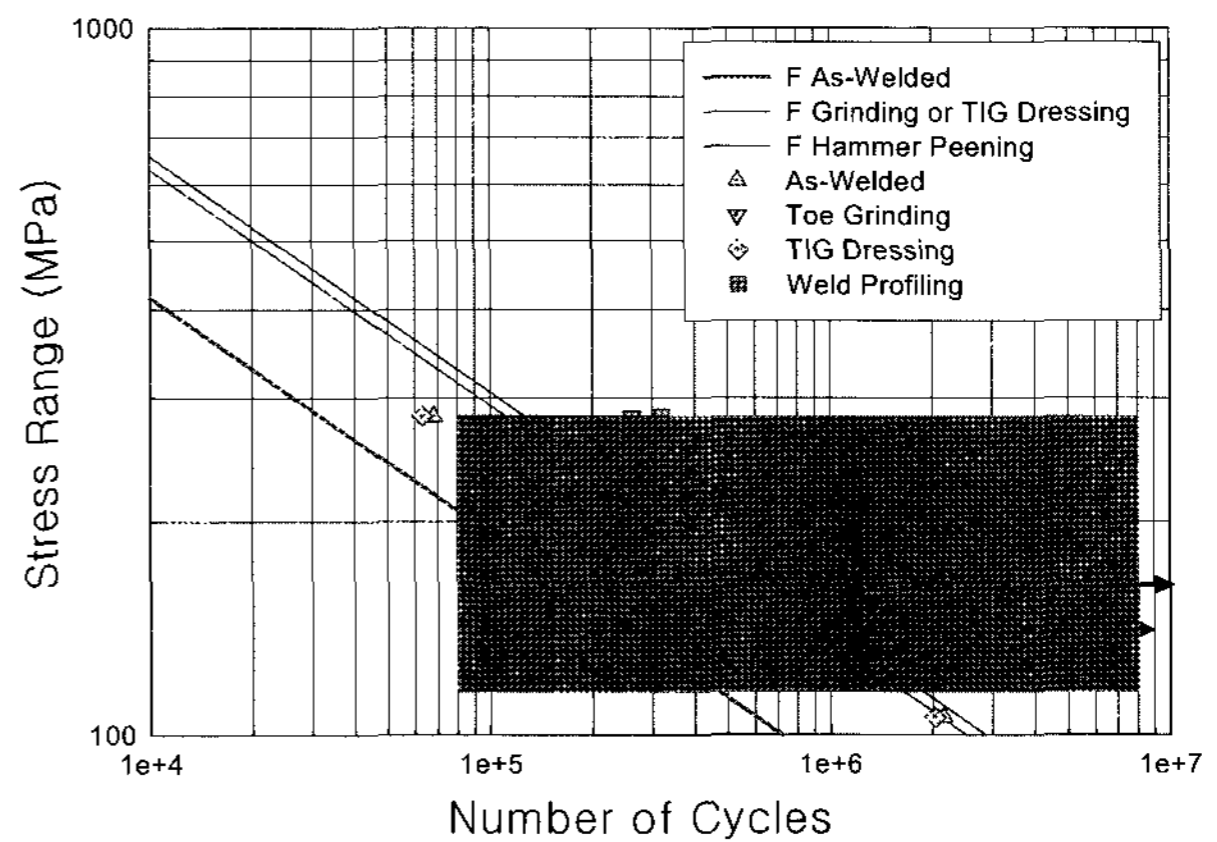


Fig. 11 Effect of weld improvements on fatigue life design curves of DnV RP C203 class F

이지만, 실험결과는 F 등급보다 2 등급 높은 D 등급에 위치하고 있다. Fig. 8은 AW 시험체의 피로강도를 DnV RP C203 설계곡선과 비교한 것이다. UK DEn 설계곡선의 경우와 마찬가지로 피로강도가 F 등급보다 2 등급 높은 D 등급에 위치하고 있다.

Fig. 9는 용접부 개선처리 시험체의 피로강도를 UK DEn F 등급 곡선과 비교한 것을 나타낸다. AW 시험체의 피로강도도 설계곡선인 Mean-2s 곡선을 상회해서 Mean 곡선에 위치하고 있다. TD 시험체를 제외한 TG 시험체와 WP 시험체의 피로강도는 Mean+2s 곡선을 훨씬 초과하고 있다. 그러나 TD 시험체의 피로강도는 AW 시험체의 피로강도와 동일 수준이다. TIG 드레싱의 경우 Fig. 2에서 보듯이 비드에 검은 점 같은 것들이 존재하고 있다. 이것들은 용접금속의 청결작업을 제대로 수행하지 못했기 때문에 발생한 것이다. 또한 용접 단면을 보면, 재용융이 모재와 용접금속 간의 완전한 천이를 하지 못했음을 보여준다. 이러한 원인들로 인해서 Fig. 6에서 보듯이 TIG 드레싱이 인장잔류응력을 저감시켰음에도 불구하고, 피로강도가 다른 용접부 개선처리한 것과 유사한 수준에 이르지 못하고 있다.

Fig. 10은 용접부 개선처리 시험체의 피로곡선을 나타낸다. AW 시험체와 TD 시험체의 피로곡선 기울기는 3 정도이다. 그러나 TG 시험체, WP 시험체의 피로곡선 기울기는 3보다 크게 나타났다. 특히 WP 시험체의 피로곡선 기울기는 TG 시험체보다 훨씬 크다. 이것은 Fig. 2의 용접 단면에서 보듯이 용접 형상을 완만하게 조절하는 개선법인 용접 프로우파일링 처리가 제대로 행해지지 못하고 완전 밀링가공 되었기 때문이다.

Fig. 11은 용접부 개선처리 시험체의 피로강도를 DnV RP C203 F 등급 설계곡선과 비교한 것을 나타낸다. TD 시험체를 제외한 TG 시험체와 WP 시험체의 피로강도가 그라인딩과 햄머 피닝 설계곡선을 상회하고 있음을 알 수 있다.

3.2 인공 부식 피로

3.2.1 인공 부식

3.2.1.1 부식속도 결정

인공해수 중에서 피로실험을 하기 위해서는 해양구조물이 해양에서 받는 파랑하중속도인 0.17Hz(10cpm)로 피로하중을 부하해야 한다 (Kobayashi et al., 1998; Kim et al., 2006). 그

러나 0.17Hz로 피로실험을 하기 위해서는 많은 시간적 비용이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 인공 해수용액으로 시험체를 1년 부식, 5년 부식, 10년 부식시킨 다음 대기 중에서 피로실험을 수행하였다. 이때 시험체의 부식속도를 결정하고 정량적으로 시험체를 가속 부식시키는 것이 관건이다.

해양구조물의 부식속도는 소재의 화학성분과 해양구조물 사용 부위 등에 영향을 받는다. 그러나 부식속도에 대한 정량적인 기준은 아직까지 명확하지 않다. ASM 핸드북(1997)에서는 해수 중에 연속 침지했을 경우 탄소강과 가공재 주철의 부식속도가 각각 2.7mpy 및 2.4mpy라고 보고하고 있다. 또한 NACE에서는 탄소강이 장시간 해수에 노출되었을 경우 처음 20년 동안에는 평균 2mpy 부식되고, 그 후에는 약 1mpy 부식된다고 보고하고 있다 (Larrabee, 1962). 이상의 연구를 토대로 해양구조물의 부식속도를 2mpy로 결정하였다. 여기서 2mpy의 부식속도는 연간 시험체의 표면이 균일하게 부식되어 두께의 감소가 0.05mm 발생하는 것을 의미한다.

3.2.1.2 부식실험

십자형 피로시험체를 부식시키기 전에 쿠폰을 이용하여 여러 부식실험을 하여 최적의 부식 실험법을 결정하였다. 부식실험에는 연속 침지 시험법 (Continuous immersion test)과 염수 분무 시험법 (Salt spray test) 및 전기화학적 시험법 (Electrochemical test)을 사용하였다.

염수 분무 시험은 ASTM B117에 따라 다음과 같이 수행하였다. 우선 시험 표면의 이물질을 제거한 다음 초음파 세척을 한 후 건조시킨 시험체의 무게를 측정하였다. Table 2에 나타낸 것처럼 35°C, 60°C, 80°C에서 각각 ASTM D1141에 의거한 인공해수용액(ASW)으로 연속 분무 또는 1시간 분무와 1시간 건조를 반복하였다. 또한 부식을 가속시키기 위해서 ASTM G85에 의거하여 1000mL 인공해수용액에 10mL 초산 (CH₃COOH)을 혼합한 용액에서도 염수 분무 실험을 수행하였다. 염수 분무 시험 후 시험 표면의 부식 생성물을 ASTM G1에 의거하여 1000mL HCl + 20g Sb₂O₃ + 50g SnCl₂ 용액에서 세척한 다음 시험체를 건조시켰다. Fig. 12는 염수 분무 시험 전과 후를 나타낸다.

Table 2 Salt spray coupon test

Coupon size(mm)	Test solution	Test method	Test temp(°C)
API 2W 50T base metal	ASW 1L ASW+10mL CH ₃ COOH	Continuous cyclic (1hr spray+1hr dry)	30, 60, 80
API 2W 50T weld metal			

부식속도는 염수 분무 시험하기 전과 후의 시험체의 무게로부터 다음 식을 이용하여 계산하였다. 이때 Pitting은 고려하지 않았다.

$$mpy = \frac{\text{상수} \times \text{무게감소}}{\text{면적} \times \text{침지시간} \times \text{밀도}} \quad (1)$$

여기서, 상수=3.45x10⁶
 무게감소=부식 전 무게 - 부식 후 무게(g)
 면적=노출된 시험체의 표면적(cm²)
 침지시간=부식 시간(hr)
 밀도=7.85g/cm³

연속 침지 시험에서는 ASTM G31과 ASTM G44에 의거하여 80°C 되는 Hot plate 위에 시험이 침지된 비커를 올린 다음 연속적으로 시험을 부식시켰다. 이때 부식액은 염수 분무 시험과 마찬가지로 인공부식용액을 사용하였다.

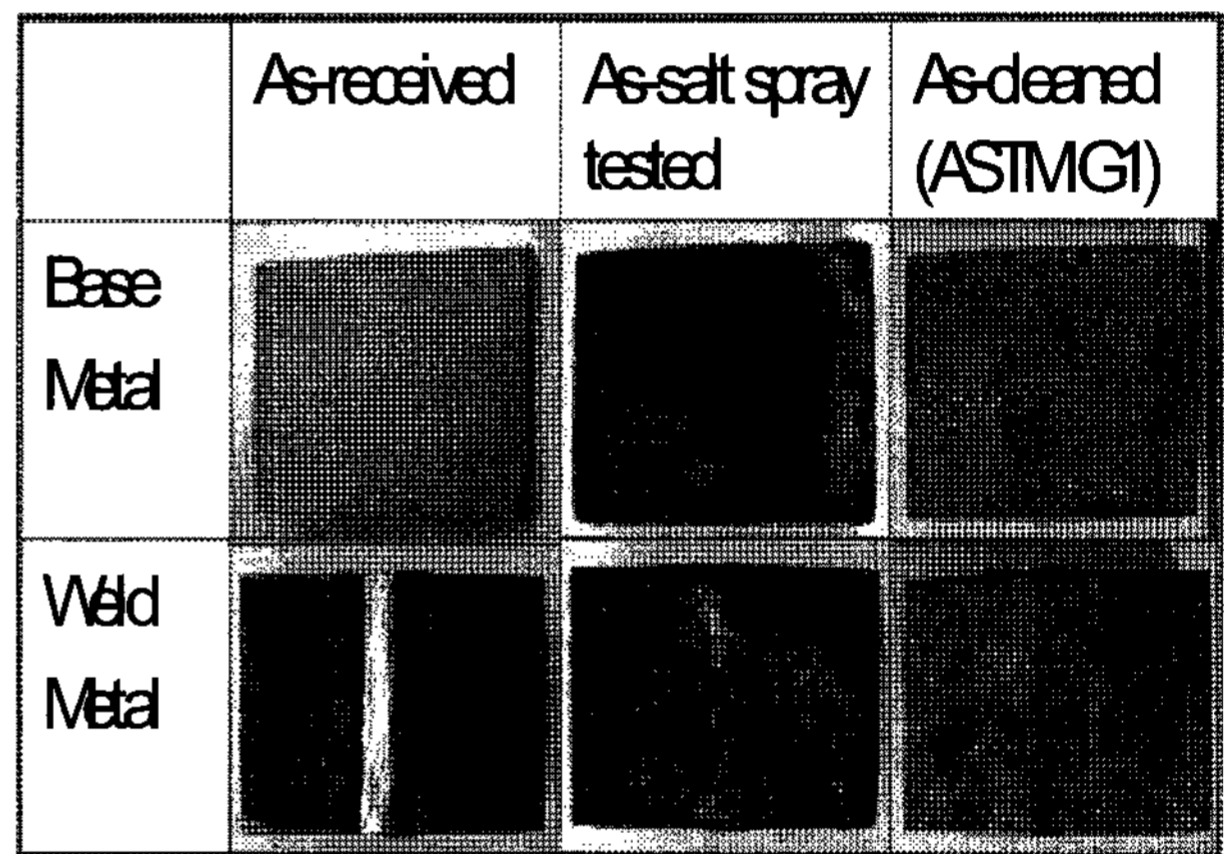


Fig. 12 Weight loss measurement

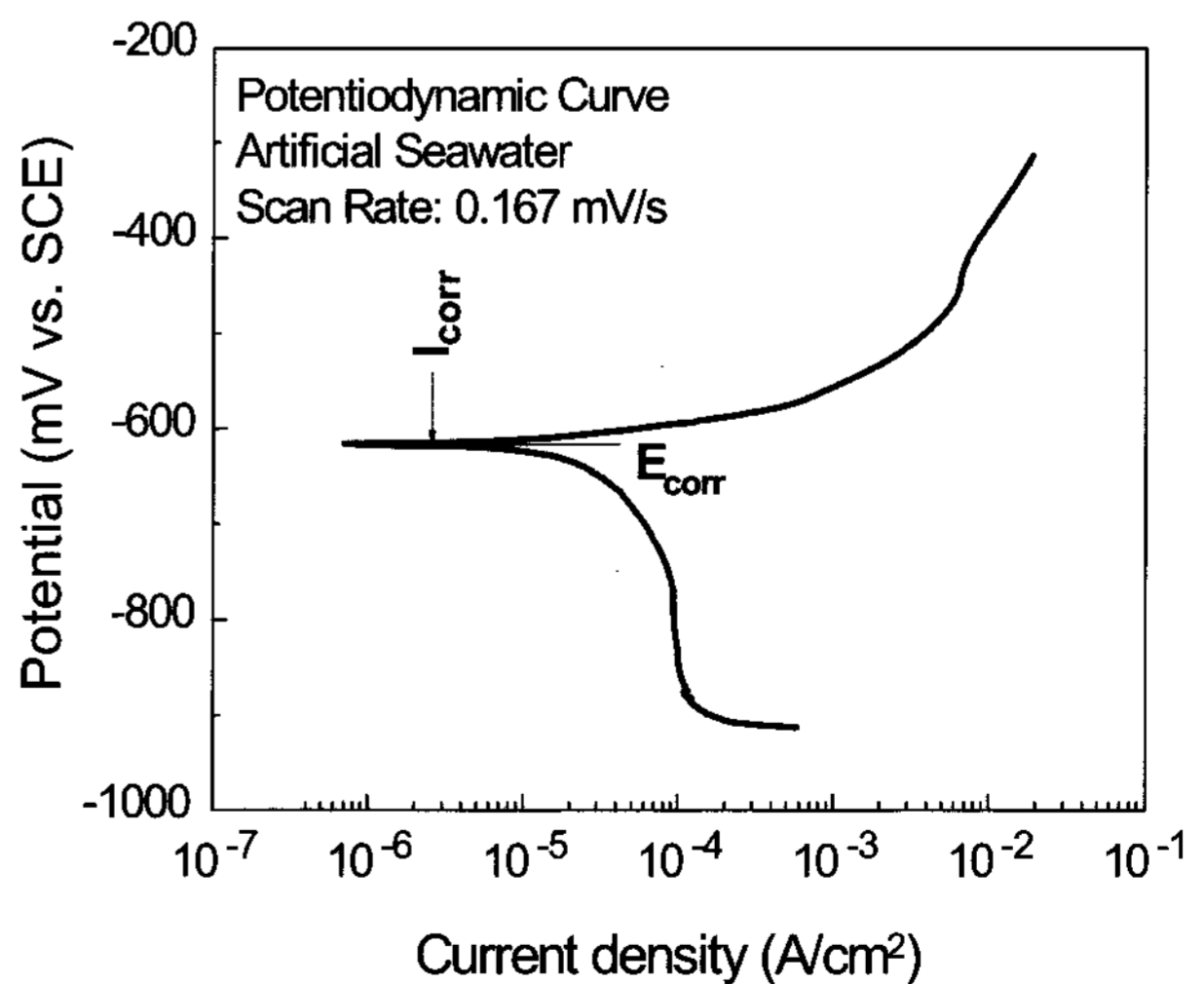


Fig. 13 Variation of cathodic and anodic polarization curve in artificial sea water solution

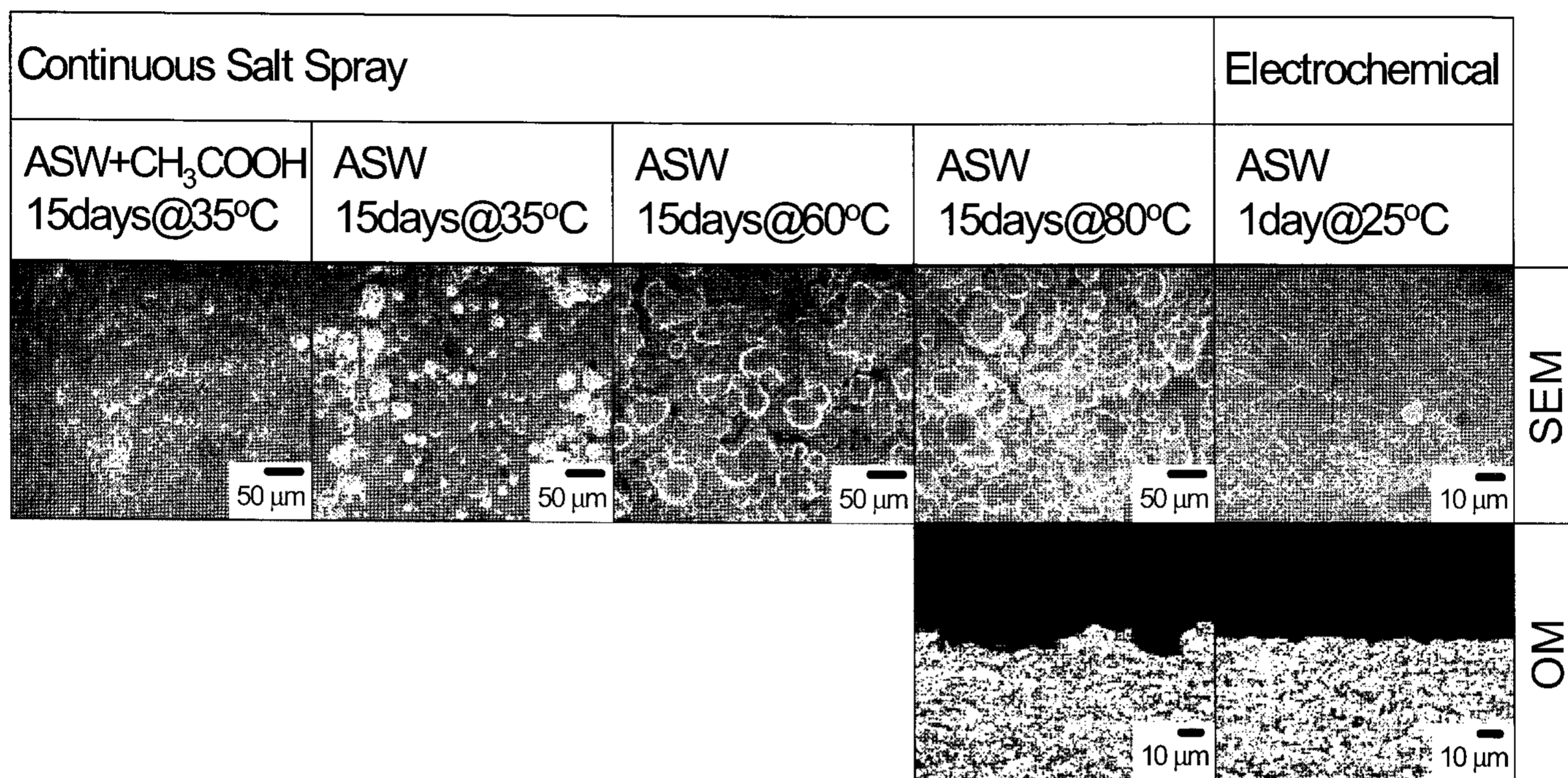


Fig. 14 SEM/OM surface observation

전기화학적 실험을 통하여 분극곡선에서 부식전류밀도를 구하고 이 값을 이용하여 짧은 시험시간으로도 원하는 시간에 해당되는 것과 동일하게 부식을 가속시킬 수 있다. Fig. 13은 면적이 1cm²인 시편을 25°C 인공해수용액에서 부식셀을 이용하여 양극 및 음극분극실험을 행한 결과를 나타낸다. 이때 기준전극은 포화 커로멜 전극, 상대전극은 대극을 이용하였다.

Fig. 13으로부터 구한 부식전류밀도 (I_{corr}) 2.5904μA/cm²로부터 1년간 시편의 단위 면적당 흐르는 전하량 Q가 81.69C/cm²임을 알 수 있다. 따라서 1일에 9454.9μA/cm²의 전류밀도를 시편에 인가한다면, 1일 실험으로 10년에 해당되는 것과 동일한 부식량을 시편에 줄 수 있다.

Fig. 14는 염수 분무 시험과 전기화학적 시험한 결과를 주사전자현미경 (SEM)과 광학현미경 (OM)으로 관찰한 결과를 나타낸다. 전기화학적 시험결과를 보면, 이론적 예상과는 달리 부식이 거의 발생되지 않았다. 또한 십자형 피로시험체의 표면적을 고려했을 때 시험체에 인가할 수 있는 전류밀도는 Potentiostat 기가 용량을 크게 초과한다. 따라서 전기화학적 방법을 통한 가속부식시험은 적합하지 않음을 알 수 있다. 염수 분무 시험의 경우는 인공해수용액에 초산이 혼합된 용액에서 시험된 시편에서는 국부적인 영역에서만 부식이 진행되고 있다. 그러나 인공해수용액에서 시험된 시편에서는 부식이 전체적으로 진행되었으며, 시험온도가 높을수록 부식의 정도가 심함을 알 수 있다. 따라서 염수 분무 시험은 인공해수용액에서 수행하는 것이 적합함을 알 수 있다. Table 3은 연속 침지 시험과 염수 분무 시험 및 전기화학적 시험을 했을 경우 10년 동안의 부식손상을 모사하는데 필요한 시간을 정리한 것이다. 80°C 인공해수용액에서 1시간 분무와 1시간 건조를 반복하는 염수 분무 시험이 소요시간도 짧고, 부식상태도 양호함을 알 수 있다.

Table 3 Coupon test results corrosion rate

Specimen	Test solution	Test method	Test temp(°C)	Corrosion rate(mpy)	To produce 10 years corrosion damage
API 2W 50T base metal	ASW	Continuous salt spray	35	9.6	25 months
			60	35.5	6.76 months
			80	40.3	5.96 months
API 2W 50T weld metal	ASW	Cyclic salt spray	35	18.0	13.33 months
			80	101.3	2.37 months
			ASW	Electrochemical	25
API 2W 50T weld metal	ASW	Continuous salt spray	60	46.8	5.13 months
			35	31.6	7.59 months
			80	80.2	2.99 months
		Continuous immersion	80	22.6	10.62 months

이상의 실험결과를 이용하여 십자형 피로시험체를 80°C 인공해수용액에서 1시간 분무와 1시간 건조를 반복하는 염수 분무 시험법으로 1년, 5년, 10년 가속 부식시켰다. 십자형 피로시험체의 1년, 5년, 10년 가속 부식은 '3.2.1.1 부식속도 결정'에서 정의한 2mpy를 기준으로 해서 십자형 피로시험체와 함께 인공해수용액에서 부식된 쿠폰 시편의 무게 변화로부터 확인하였다. 이것은 염수 분무 시험법으로 각각 6.1일, 56.8일, 113.5일에 해당한다. Fig. 15는 가속 부식된 십자형 피로시험체를 보여준다.

3.2.2 피로수명

Fig. 16은 1년 부식, 5년 부식, 10년 부식된 용접부 개선처리 시험체의 피로수명을 UK DEn F 등급 곡선과 비교한 것을 나타낸다. 247.0MPa 응력 범위에서 보면, 모든 시험체가 용접부 개선처리에 무관하게 부식년수가 길수록 피로수명이 저하되고 있다. 응력범위 197.6MPa의 경우도 전체적인 경향에 있어서는 응력 범위가 247.0MPa인 경우와 유사하다. 다만, 1년 부식된 AW 시험체와 TG 시험체, 5년 부식된 TD 시험체와 WP 시험체의 경우에 있어서 AW 시험체를 제외하고는 모두 피로수명이 부식않된 상태의 피로수명보다도 더 크게 나타났다. 이것은 한 번에 여러 개의 시험체를 동시에 염수 분무 시험을 실시하였기 때문에, 해당 시험체들이 제대로 염수 분무에 노출되지 않아서 생긴 결과라고 사료된다. 또한 응력범위가 197.6MPa인 것의 부식년수에 따른 피로수명 저감율이 247.0MPa인 경우보다 큰 원인은 Fig. 10에서 보듯이 용접부 개선처리를 하면 피로곡선 기울기가 완만해져서 낮은 응력범위에서는 실험결과와 분산이 크게 나타났기 때문으로 사료된다. 이에 대해서는 보다 많은 실험적 검증이 필요하다. Table 4에 용접부 개선처리한 부식 시험체의 피로수명을 정리하였다. 여기서 이탤릭체로 표기된 것은 해당 사이클까지 시험체가 파괴되지 않은 것을 의미한다.

Table 4 Fatigue life

	Stress range = 247.0 MPa				Stress range = 197.6 MPa			
	0year corroded	1year corroded	5years corroded	10years corroded	0year corroded	1year corroded	5years corroded	10years corroded
AW	-	113,612	122,730	80,924	268,300	151,903	197,147	169,627
TD	-	93,061	118,051	103,863	245,528	155,256	319,213	146,862
TG	-	266,704	148,376	147,416	1,708,766	2,556,092	317,564	812,478
WP	456,306	535,980	349,661	214,684	4,366,019	1,960,055	4,861,848	409,047

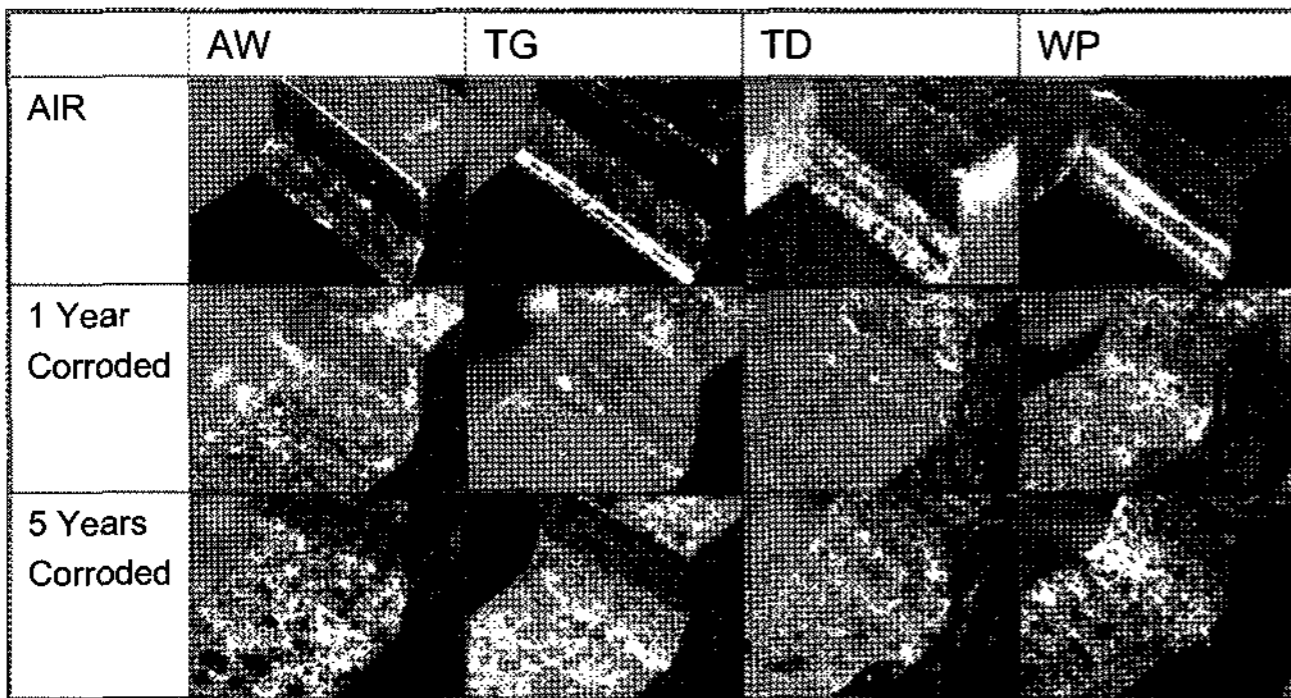


Fig. 15 Corroded specimens

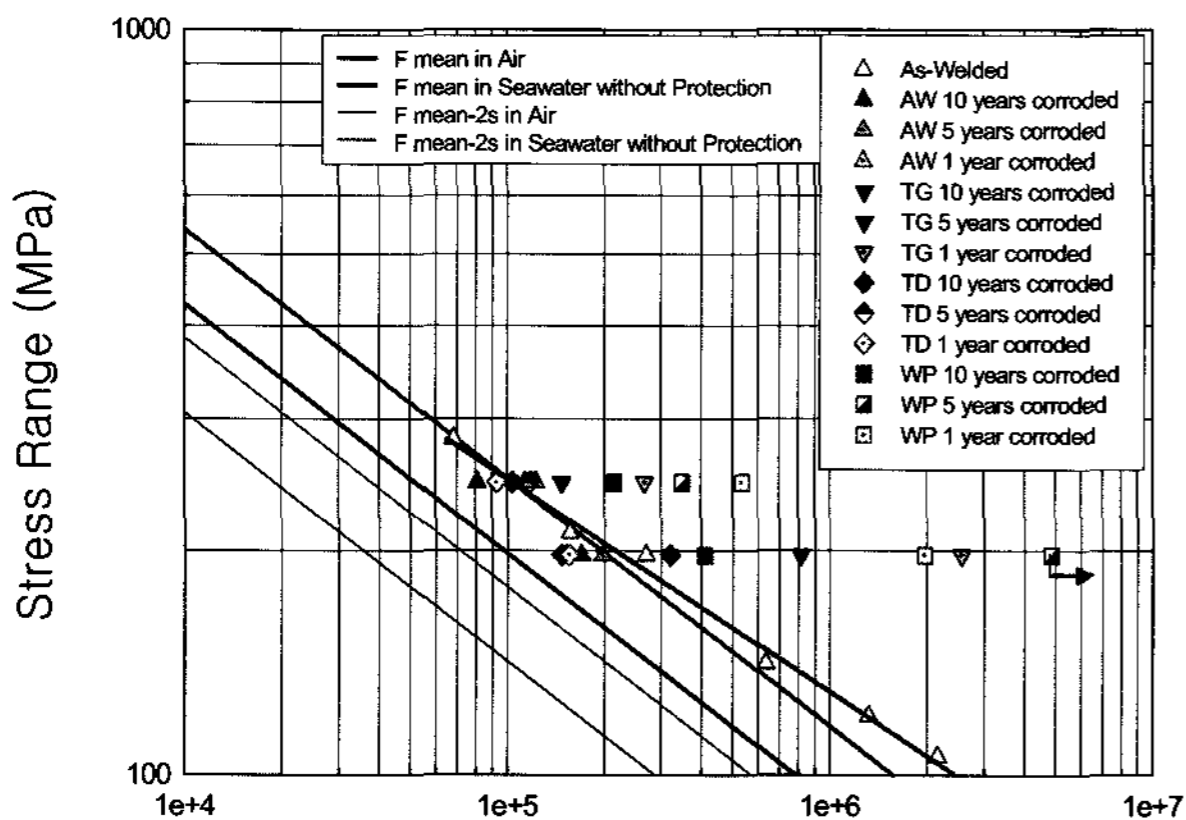


Fig. 16 Effect of weld improvements on fatigue life SN curves of UK DEn class F

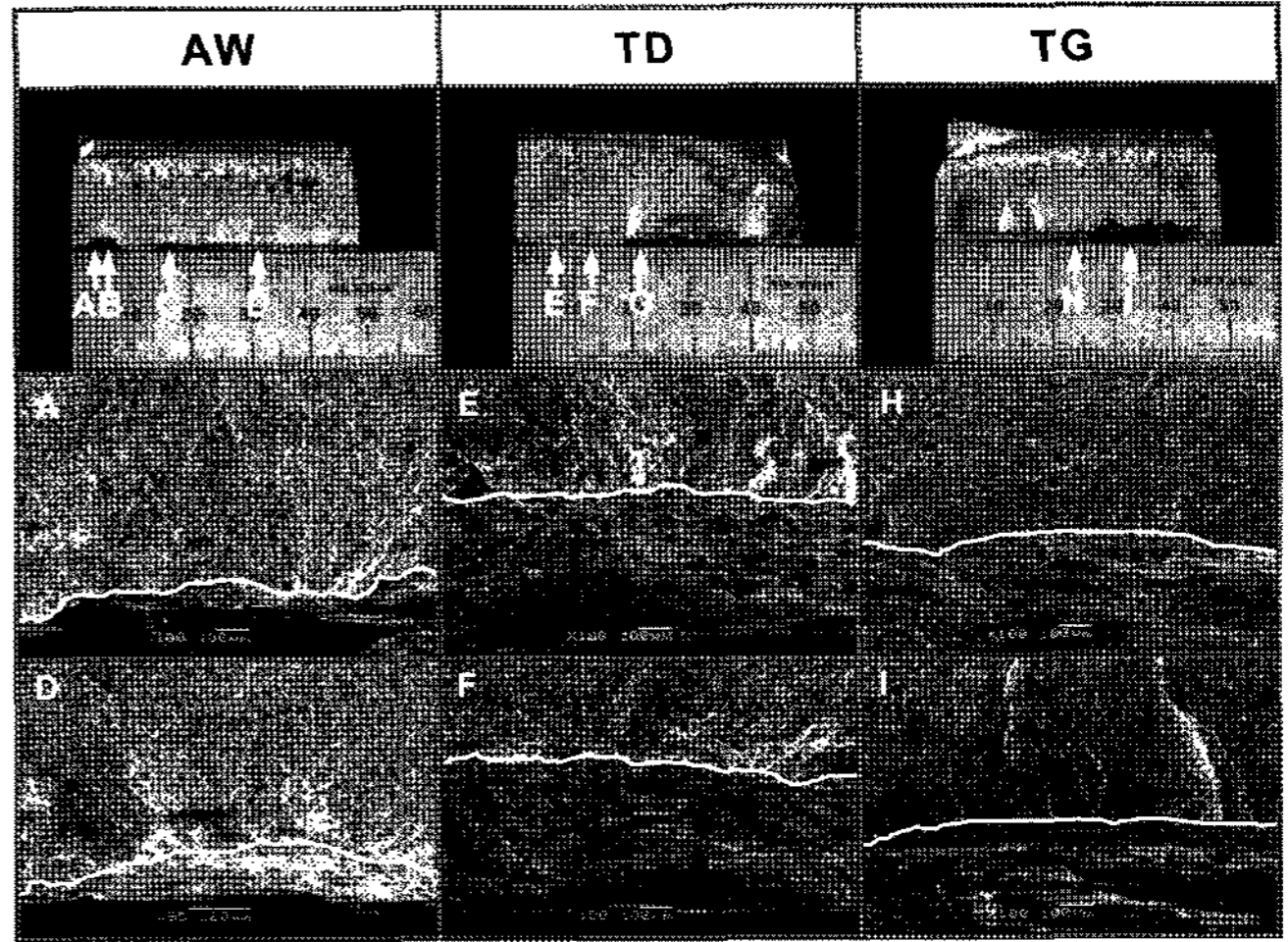


Fig. 17 Precorrosion damage of 5 years corroded specimens

이상의 실험결과들을 요약하면 TD 시험체를 제외한 모든 용접부 개선처리한 시험체의 피로수명이 부식년수에 무관하게 부식않된 AW 시험체보다 우수함을 알 수 있다. 또한 실험결과들이 UK DEn F 등급 Mean 곡선을 상회하고 있다. TD 시험체는 Fig. 9에서 언급되었듯이 AW 시험체와 유사한 피로수명을 보이고 있다.

Fig. 17은 5년 부식된 시험체의 파단면을 보여준다. 피로균열이 화살표로 표시된 Precorrosion 손상부에서 발생되고 있다. 여기서 Precorrosion 손상부란 부식과 피팅(Pitting)으로 피로파괴의 기점이 된 부분을 의미한다. Fig. 17에서 흰 선은 피로균열과 Precorrosion 손상부의 경계부를 보여준다.

4. 결 론

(1) 용접부 개선처리가 피로수명에 미치는 영향을 보기 위해서 API 2W GR50T 강재로 비하중 전달형 필릿용접 십자형 시험체를 제작하여 대기 중에서 피로실험을 수행하였다. UK DEn F 등급과 비교했을 경우 용접 그대로 시험체(AW)의 피로수명은 Mean 곡선에 위치하고 있으며, 토우 그라인딩 시험체(TG), 용접 프로우파일링 시험체(WP)의 피로수명은 Mean+2s 곡선을 훨씬 상회하고 있다. 용접부 개선처리한 시험체의 피로수명은 또한 DnV RP C203의 그라인딩 및 햄머 피닝 설계곡선을 상회한다. 그러나 TIG 드레싱 시험체(TD)의 피로수명은 개선처리 미숙으로 용접 그대로 시험체(AW) 수준으

로 나타났다. 토우 그라인딩 시험체(TG)와 용접 프로우파일링 시험체(WP)의 피로수명이 향상된 것은 용접부 기하학적 형상이 개선되었기 때문이다. 용접 그대로 시험체(AW)와 TIG 드레싱 시험체(TG)의 피로곡선 기울기는 3정도이나, 토우 그라인딩 시험체(TG)와 용접 프로우파일링 시험체(WP)의 피로곡선 기울기는 3보다 크게 나타났다. 따라서 TIG 드레싱 시험체(TD)를 제외한 용접부 개선처리한 시험체 및 용접 그대로 시험체(AW)의 피로수명은 설계곡선을 만족하고 있음을 알 수 있다.

(2) 동일한 시험체를 1년 부식, 5년 부식, 10년 부식한 상태에서 피로실험을 수행하였다. 십자형 시험체를 가속 부식시키기 위해서 80°C 인공해수용액에서 1시간 분무와 1시간 건조를 반복하는 염수 분무 시험을 수행하였다. 이때 부식속도는 2mpy로 하였다. 피로실험결과 용접부 개선처리에 무관하게 부식년수가 길수록 피로수명이 저하되고 있다. 그러나 TIG 드레싱 시험체(TD)를 제외한 모든 용접부 개선처리한 시험체의 피로수명이 부식년수에 무관하게 부식않된 용접 그대로 시험체(AW)보다 우수하게 나타났다. TIG 드레싱 시험체(TD)는 용접 그대로 시험체(AW)와 유사한 피로수명을 보이고 있다.

참 고 문 헌

ASM Handbook (1997), Vol 13, Corrosion, pp 905.

Hara, M. Kawai, Y. Narumoto, A. and Matsumoto, S. (1986). "Corrosion Fatigue Strength of 490 MPa Class High-Strength Steels Produced by the Thermo-Mechanical Control Process", OTC 5311, pp 179-185.

Kim, W.B. Paik, J.K. Iwata, M. and Yajima, H. (2006). "Fatigue Strength Evaluation of Rusting Decayed Hull Steel Plate in Air and in Artificial Seawater Condition", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol 43, No 4, pp 467~475

Kirhope, K.J. Bell, R. Caron, L. Basu, R.I. and Ma, K.T. (1999). "Weld Detail Fatigue Life Improvement Techniques", Marine Structure, pp 447-474.

Kobayashi, Y. Tanaka, Y. Goto, H. Matsuoka K. and Motohashi, Y. (1998). "Corrosion Fatigue Strength of a Butt Welded Joint of a Ship Structural Steel in Synthetic Seawater", Journal of Japan Welding Society, Vol 16, No 3, pp 382-387.

Larrabee, C.P. (1962). "Steel Has Low Corrosion Rate During Long Sea Water Exposure", Materials Protection, NACE, pp 95-96.

Murphy, D.S.R. Gandhi, P. and Raghava, G. (1997). "Corrosion Fatigue Life of Cathodically Protected Tubular Joints of Offshore Structures", Proceedings of International Conference on Corrosion CONCORN, pp 390-397.

Park, Y.K. Kim, H.S. Shin, S.B. and Kim, K.K. (2006). "A Study on the Fatigue Characteristics at the Weldment by Spot Heating", Proceedings of the 16th International Offshore and Polar Engineering Conference, pp 106-111.

Ummenhofer, T. and Weich, I.C. (2007). "Concepts for Fatigue Design of Welds Improved by High Frequency Peening Methods", Proceedings of the 17th International Offshore and Polar Engineering Conference, pp 356-362.

Yajima, H. Hirata, T. Inoue, K. Kawahara, M. Katsuta, J. Fujimoto, Y. Iwata, M. and Nagai, K. (1985). "Fatigue Strength in Seawater of High Heat-Input Welded Joints for TMCP Type 50kgf/mm²-Class High Tensile Steel Plates", West Naval Architects, pp 233-241.

2007년 11월 20일 원고 접수

2008년 2월 25일 최종 수정본 채택