

음향방출시험에 의한 고장력강의 응력부식 균열전파 거동에 관한 연구

유 효 선 · 정 세 희*

전북대학원 기계공학과

*전북대학교 정밀기계학과

A Study on the Stress Corrosion Cracking Propagation Behaviors of high Strength Steel by Means of Acoustic Emission Test

You Hyo-Sun and Chung Se-Hi*

Dept. of Mechanical Eng., Graduate School of Chonbuk National Univ.

*Dept. of Precision Mechanical Eng., Chonbuk National Univ.

초록 - 응력부식균열(SCC) 감수성평가를 위한 여러 시험방법들중 저변형율시험방법은 비교적 짧은 시간내에 금속재료의 SCC감수성을 평가하기 위한 효과적인 시험방법이다. 그러나 저변형율시험방법만으로 SCC과정의 미시적 파괴거동을 분석하는 것은 매우 어렵다. 종래, 음향방출(AE)시험은 재료의 파괴과정시 미시균열의 개시 및 전파거동을 감지하는데 유효한 기법으로 잘 알려져 있다. 그러므로 본 논문에서는 저변형율시험과 음향방출시험을 이용하여 SCC의 전파과정과 AE신호 특성사이의 상호관계를 분석하였다. 실험결과, 재료의 미시파괴 과정에서 발생하는 AE신호들은 뚜렷히 시험 환경에 의존하였으며, 인공해수중에서 SCC과정시 발생된 AE신호 특성은 Air상태 보다 상당히 크게 나타났다. 그리고 SCC 거동은 AE신호의 진폭인자로서 명확하게 평가할 수 있다.

Abstract Among the various test methods for stress corrosion cracking(SCC) susceptibility evaluation, the slow strain rate test(SSRT) method is a rapid and effective method to evaluate the SCC susceptibility of metal in relatively short time. But it is very difficult to analyze the microfracture behaviors in SCC process by using the test(SSRT) method only. Up to now, it has been well known that the acoustic emission(AE) test is the effective technique to monitor the microcrack initiation and propagation in material fracture process. Therefore, in this paper, we analyzed the correlation between the SCC process and the characteristics of AE signal by using the SSRT and the AE test. According to the test results, the AE signals produced from the material microfracture were clearly depended on the test environment. The AE signal characteristics generated during SCC process in synthetic sea water were comparatively greater than those in air. In addition, the SCC behaviors could be definitely evaluated by the amplitude parameter of AE signals.

1. 서 론

부식환경에 처해 있는 구조물은 재료와 부식환경이 서로 상호작용하여 응력부식균열(stress corrosion cracking: SCC) 현상을 일으킨다¹⁾. 금속재료의 응력부식 파괴현상은 최근 공업의 고도화와 더불어 각종 plant의 대형화 및 복잡화, 재료의 고강도화 그리고 금속구조물들의 사용되는 환경분위기의 다양화 및 가

혹화 추세로 인해 구조물의 안정성평가에 있어서 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 응력부식의 특징은 역학인자, 재료인자 및 환경인자에 지배되는 현상²⁾으로 사전에 평가 및 예방할 수 있다는 점도 특징이라 할 수 있다. 따라서 SCC감수성 평가를 위해서는 그 재료의 미시조직을 연속적으로 부식환경에 접하게 하여 신생면에서의 전기화학적 변화에 따른 재료의 파괴거동을 고찰해야만 된다. 이

러한 SCC감수성은 종래 여러방법으로 평가^{3,4)}되어져 왔으나, 이들중 저변형율시험(slow strain rate test: SSRT)법⁵⁾은 재료에 일정한 저변형속도를 가해줌으로써 부식환경내에서 빠른 속도로 기계적인 파괴와 전기화학적인 파괴를 일으켜 재료의 SCC감수성을 평가하는 시험방법이다. 이러한 재료의 저동적변형중에 일어나는 SCC현상은 초기에는 국부적인 공식(pitting)의 발생, 미시균열의 개시(micro-crack initiation) 그리고 균열성장(crack propagation)과 함께 최종 파괴(fracture)에 이르게 되는데, 종래의 SSRT시험방법만으로는 이러한 SCC전과거동을 평가하기에는 매우 어렵다.

따라서 본 연구에서는 미소시험편을 이용하여 국부부위의 재료강도 평가가 가능한 소형 펀치(small punch: SP)시험법⁶⁾에 최근 비파괴 시험(non-destructive test: NDT)방법으로 구조물의 안전성, 원자력발전 설비분야의 가동

중의 감시, 피로균열과 용접균열 등의 각종 균열발생과 그 성장감시 등에서 새로운 평가 방법으로 사용되고 있는 음향방출(acoustic emission: AE)시험법^{7,8,9,10)}을 도입하여, Air상태와 인공해수(pH8.2)중에서 재료의 미시파괴 과정시 발생하는 AE신호 특성을 비교하고, 부식환경에서의 SCC의 발생과 전과거동에 따른 AE신호 특성을 분석하고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험편

본 실험에 사용된 재료는 해양구조물용 고장력강재인 HT80강으로서 그 화학조성 및 기계적성질은 Table 1과 같다. 시험편의 채취는 압연(rolling)방향에서 소형펀치(small punch: SP)시험편의 규격⁶⁾인 10mm×10mm×0.5mm의 크기로 제작하였다. 이때 시험편 두께의 허용오차는 0.5 ± 0.05 mm로 하였다.

Table 1. Chemical composition & mechanical properties of HT80 steel.

Chemical composition (wt.%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
	0.11	0.2	0.7	0.003	0.003	0.2	0.7	0.48	0.39
Mechanical property	Yield strength (kg/mm ²)		Tensile strength (kg/mm ²)		Elongation (%)				
	79.4		83.4		30.0				

2.2 실험방법

1) 음향방출(AE) 실험방법

응력을 받고 있는 재료가 동적거동을 나타낼때, 그 재료는 조직내의 갑작스런 원자이동으로 인하여 생성된 응력과 또는 압력파를 방출하는데 통칭 이것을 음향방출(acoustic emission)현상이라 한다¹¹⁾. 실험에 사용된 AE 장비는 Physical Acoustic Corporation(PAC)사의 Locan AT AE analyzer를 사용하였다. AE신호는 Fig. 1에 보여진 AE측정 system을 통하여 분석되었으며, AE신호 검출에 사용된 sensor는 광대역의 주파수범위(50~1200kHz)를 감지할 수 있는 압전형변환기(piezoelectric transducer)를 사용하였다. sensor에서 감지된 signal은 전치증폭기와 AE analyzer에서 총 80dB(total gain)증폭한 뒤, noise제거를 위해

100~1200kHz의 bandpass filtering을 한 후, system의 신호처리를 위해 A/D converter에서 digitalize되어 분석되었다. AE실험은 주위의 잡음(background noise)에 상당한 악영향을 받기 때문에 초기전압(threshold voltage)값의 결정시에는 주위의 여러 잡음(mechanical noise, electromagnetic noise, fluid flow noise 등) level을 고려하여 최적의 초기전압을 설정해야 하며, 실험시에도 세심한 주의를 필요로 한다. 따라서 본 연구의 threshold는 이러한 noise level을 고려하여 71dB(3.55mV)로 설정하였다. 시험에 채택된 AE신호의 인자는 신호의 전형적인 파형특성을 나타낸 Fig. 2에서 AE신호의 발생 Hit와 Intensity인자인 진폭(Amplitude)과 폭(Duration) 그리고 peak점까지의 도달시간(Rise Time)으로

하였다. AE sensor의 부착은 미소시험편에 직접 부착이 어려우므로 시험지그의 상부다이(upper die) 측면에 부착하였으며, 시험편과 상부다이의 사이에 그리고 상부다이와 sensor 사이에 high vacuum grease를 바른 후, clamp를 사용하여 일정압력으로 부착시켰다.

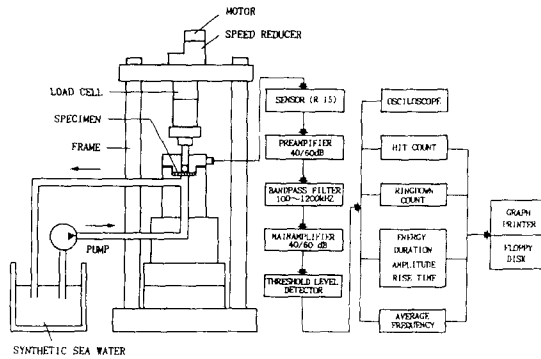


Fig. 1. The experimental equipment used for SP SCC test and block diagram of the AE signal process.

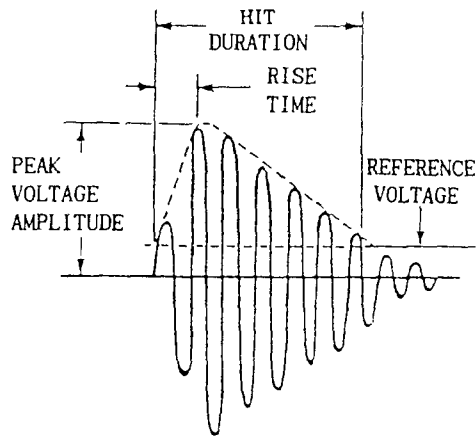
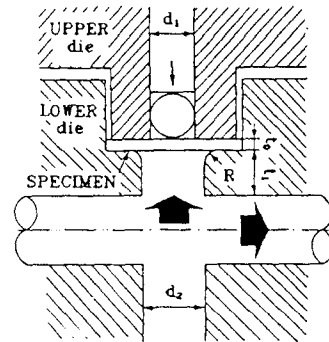


Fig. 2. AE signal waveform characteristics.

SP시험지그는 Fig. 1에 나타나 있으며 시험편의 체결부위의 상세도는 Fig. 3과 같다. 시험지그는 상부다이(upper die)와 하부다이(lower die), 펀치(punch) 그리고 4개의 체결볼트로 이루어져 있으며, 이때 상부다이에 의해 고정되는 시험편에 균일한 체결력이 가해지도록 4개의 볼트는 토오크렌치를 사용하여 50kg·mm로 일정하게 체결하였다. SP시험은 지면형용시험기(용량 2ton)를 사용하여 펀치

선단에 HRC 62~67의 경도표를 갖는 $\phi 2.4\text{mm}$ 의 강구(steel ball)를 놓고 이를 통하여 시험편의 상부에 하중을 가하였다. Fig. 4는 Air 상태에서 SP시험으로 부터 얻어지는 4단계의 파괴거동을 탄성굽힘영역(I 영역), 소성굽힘영역(II 영역), 소성막신장영역(III), 소성불안정영역(IV)으로 구분하여 나타낸 그림이다¹⁰⁾. 이때 탄성굽힘영역은 대기상태에서 최대변위(δ_{max})의 3%로 하였으며, 소성굽힘영역과 소성막신장영역은 최대변위(δ_{max})의 40%로 구분하였다. 그리고 소성막신장영역과 소성불안정영역은 최대변위(δ_{max})의 80%로 구분하였다. 실험에 채택된 부하속도는 $3 \times 10^{-4} \text{mm/min}$ 속도로 하였다. 시험중의 하중값은 load cell에서 나오는 미세 접합치를 amplifier에 의해 증폭시킨 후, AE analyzer의 parametric input단자에 입력시켜 측정하였으며, 변위값은 부하속도로 부터 계산되었다. 부식환경은 Table 1에 나타나있는 ASTM-D1141¹²⁾에 따라 제조된 pH8.2의 인공해수(synthetic sea water: SSW)로 하였으며, 대기 개방상태로 하고 인공해수의 순환속도는 50ml/min으로 일정 순환시키면서 실험을 행하였다. 해수의 온도는 $22^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였다. 또 Air상태와 인공해수중에서 재료의 미시파괴 거동과 AE신호 특성과의 관계를 알아보기 위해 미소시험편의 표면과 파면을 주사전자현미경



[mm]						
	t_1	t_2	d_1	d_2	R	Steel ball
Small punch (10 × 10)	0.5	3.0	2.4	4.0	0.2	$\phi 2.4$

Fig. 3. Loading jig for SP-SCC test and specimen.

(scanning electron microscope: SEM)을 통해 관찰하였다.

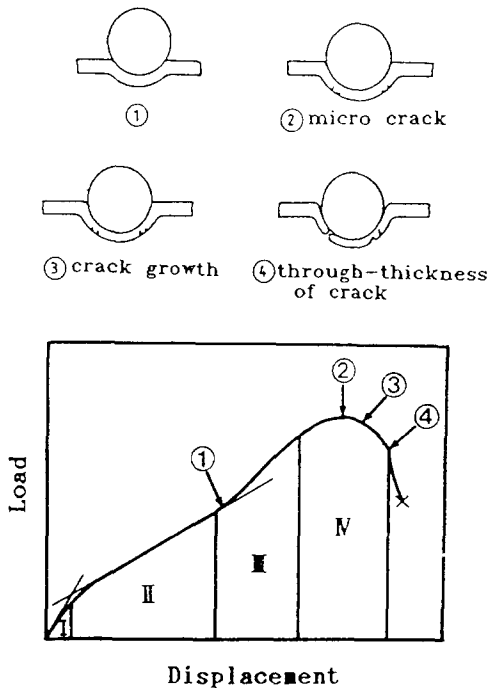


Fig. 4. Schematic illustration of deformation characteristics and fracture process in SP test specimen.(Air condition)

Table 2. The composition of synthetic sea water.(in 10 liter water)

Composition	Quantity(g)
NaCl	245.34
MgCl ₂ ·6H ₂ O	111.11
Na ₂ SO ₄	40.94
CaCl ₂	11.58
KCl	6.95
NaHCO ₃	2.01
KBr	1.01
SrCl ₂ ·6H ₂ O	0.42
H ₃ BO ₃	0.27
NaF	0.03

3. 실험결과 및 고찰

하중 변위선도 및 파면관찰

Fig. 5는 Air상태 및 pH8.2인 인공해수중에서의 하중 변위곡선들이다. 먼저 곡선 ①의 Air상태에서의 하중 변위선도를 보면 상당량의 하중과 변위를 보이고 최대하중(P_{max}) 이후에는 뚜렷한 연성적 파괴거동을 보인 후 파괴하였음을 관찰할 수 있다. 이에 대해 부식환경에서 얻은 곡선 ②, ③, ④는 Air상태에 비해 상당량의 하중, 변위의 감소를 보이고, 최대하중(P_{max}) 이후에 연 취성적 거동을 보여 SCC에 의한 파괴거동을 하중 변위선도상에서 관찰할 수 있다. 이때 부식환경에서 얻은 곡선들은 하중-변위선도상의 약간의 차이를 보이는데, 이는 변위의 증가와 함께 노출되는 시험재의 신생면과 부식액 사이의 계면에서 일어나는 비미한 전기화학적 반응의 차이에 의한 결과라 생각된다. 그러나 거의 유사한 거동을 보이고 있음을 알 수 있다. 본 연구의 실험결과 및 분석은 곡선 ②, ③, ④의 하중-변위거동중 대표적으로 ②번의 경우를 채택하여 분석하였다. Fig. 6은 Air상태와 부식환경에서 파괴된 시험재의 미시파면을 SEM으로 관찰한 사진이다. 먼저 Air상태를 보면 전형적인 딴플파괴(dimple fracture) 거동을 보이고 있다. 이에 대해 해수상태에서는 매우 뚜렷한 입내파괴(transgranular fracture) 거동을 보여 미시파면 사진으로 부터 SCC에 의한 파괴거동을 확인할 수 있다. 이같은 입내파괴 거동은 곡선 ③, ④의 거동을 보인 시험재에서도 관찰할 수 있었다.

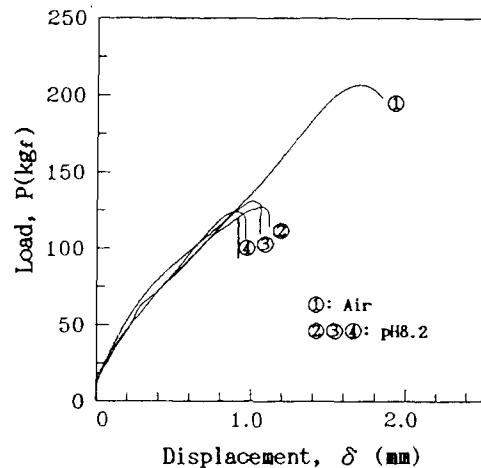


Fig. 5. The behavior of load versus displacement in Air and SSW(pH8.2).



a) Air



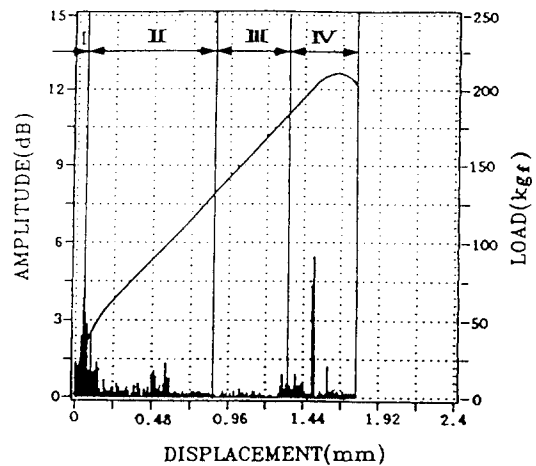
b) pH8.2

Fig. 6. SEM micrograph of fracture surface in Air and SSW(pH8.2).

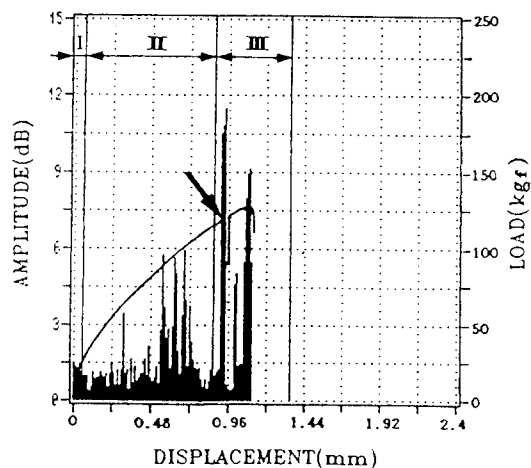
3-2. Air와 부식환경에서의 AE신호 특성

다음은 Fig. 5의 Air상태와 부식환경에서 미시파괴 거동에 따른 AE신호의 특성을 알아보기로 한다. Fig. 7은 AE신호의 Intensity인자인 단위시간(40min)당 평균 진폭(amplitude)특성을 하중-변위선도와 함께 나타낸 그림이다. 먼저 그림(a)의 Air상태에서 AE신호의 평균진폭은 SP시험의 파괴거동중 탄성굽힘영역을 지난 제 2단계인 소성굽힘영역의 개시지점에서 약 4dB 그리고 제 4단계인 소

성불안전영역의 P_{max} 전에서는 약 5dB의 peak치를 보이고 있으며, 그 외에는 2dB이하의 낮은 진폭거동을 보이고 있다. 반면 그림(b)의 해수분위기에서의 평균진폭은 제 2단계의 소성굽힘영역의 전반부에서는 낮은 진폭거동을 보인 반면, 소성굽힘영역의 후반부에서는 약 5~6dB정도의 진폭특성을 보이는 신호가 제 3단계인 소성막신장영역에서는 약 9~11dB의 peak치를 보이는 AE신호가 검출되어 시험초기부터 변형단계가 진행함에 따라 점점 높은 진폭거동을 보이고 있음을 알 수 있다.



a) Air



b) pH8.2

Fig. 7. The behavior of load versus displacement in Air and SSW(pH8.2).

특히 소성막신장영역에서도 화살표로 표시된 변위 0.92mm 지점에서 약 27kg 정도의 load capacity의 저하를 보여 부식균열의 진전량이 매우 클 것으로 생각되는데, 이때 발생된 AE 신호의 진폭이 가장 큰 peak치를 나타내고 있어 SCC의 전파거동은 AE신호의 진폭거동과 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 그리고 부식환경에서의 전체적인 진폭거동은 Air상태와 비교해 볼때 큰 진폭특성을 보이고 있다.

Fig. 8은 변위에 따른 AE신호의 단위시간당 평균 Rise Time의 분포를 나타낸 그림이다. 그림(a)의 Air상태에서 Rise Time분포를 보면 제 2영역의 초반부에서 약 $8\mu\text{s}$ 의 peak치를 보이다가 파괴점까지는 변위의 증가와 함께 $2\sim 4\mu\text{s}$ 이하의 작은 Rise Time 분포를 보이고 있어, 재료의 소성굽힘영역의 전반부에서 비교적 큰 Rise Time을 갖는 신호가 검출되었음을 알 수 있다. 그림 (b)의 해수중에서 Rise Time 분포는 소성굽힘영역의 전반부인 변위 0.3mm인 지점에서 $44\mu\text{s}$ 의 가장 큰 peak치를 보였다. 그리고 진폭분포에서 가장 큰 peak치를 보인 변위 0.92mm인 지점에서는 약 $23\mu\text{s}$ 의 값을 갖는 신호가 검출되어 진폭분포와는 약간의 차이를 보이고 있으나 전체적인 Rise Time 분포 및 Air 상태에 대한 해수중에서의 큰 Rise Time의 분포거동으로부터 평균 Rise Time인자 또한 SCC거동의 의존성을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 주목할만한 사실은 그 peak치는 다르나 Air상태와 같이 소성굽힘영역의 전반부에서 공히 Rise Time의 가장 큰 peak거동을 보였다는 점이다.

Fig. 9. Air상태와 해수상태에서의 변위에 따른 AE신호의 Intensity인자인 단위시간당 평균 Duration 특성을 나타낸 그림이다. 그림 (a)의 Air상태에서 AE신호의 평균 Duration 분포를 보면 제 2단계인 소성굽힘영역 전반부의 변위 0.2mm인 지점에서 약 $78\mu\text{s}$ 의 가장 높은 peak값을 보이고 그 외는 파괴점까지 대부분 약 $25\mu\text{s}$ 이하의 값을 갖는 신호가 검출되었다. 이 같은 거동으로부터 peak치를 보인 변위지점은 다르나 Air상태의 Rise Time 거동과 같이 소성굽힘영역의 전반부에서 가장 높은 peak거동을 보이고 있음을 알 수 있다.

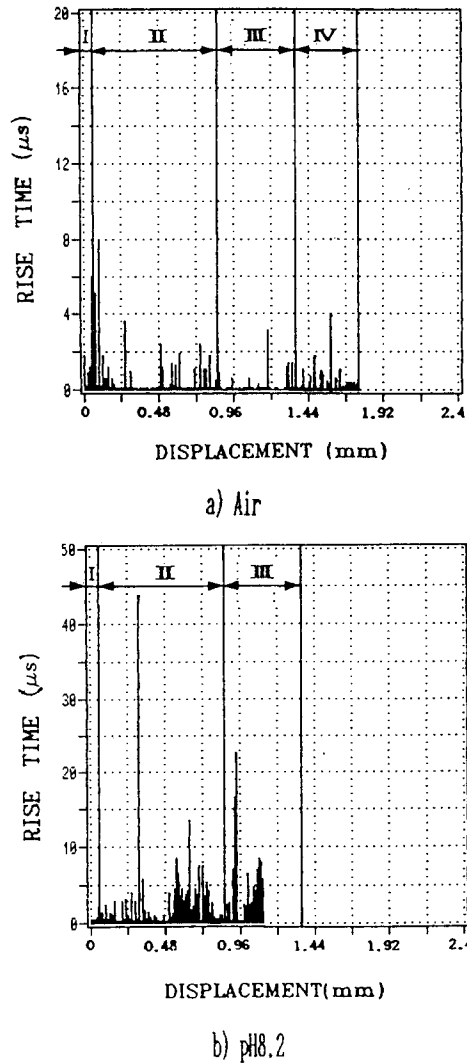


Fig. 8. Rise time distribution of AE signals plotted along with the displacement in Air and SSW (pH8.2).

이에 대해 그림(b)의 해수상태에서의 평균 Duration분포를 보면 제 1단계와 제 2단계영역의 전반부는 Rise Time의 peak치를 보이고 있고, 제 3단계의 소성막신장영역에서는 약 $10\sim 4500\mu\text{s}$ 의 Duration분포를 보이고 있는데 하중-변위선도상에서 load capacity의 저하를 보이는 변위 0.92mm 지점에서 $2700\sim 4500\mu\text{s}$ 의 매우 큰 peak치를 보이는 신호가 검출되어 Fig. 7의 부식상태인 진폭분포와 거의 유사한 거동을 보이고 있다. 또한 Air상태와 해수상태에서 AE신호의 Duration 특성을 비교

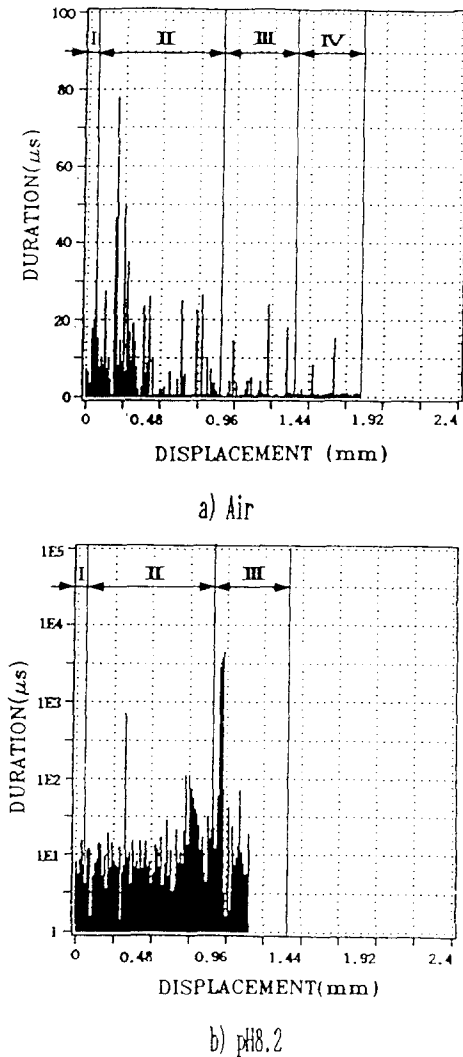


Fig. 9. Duration distribution of AE signals plotted along with the displacement in Air and SSW(pH8.2).

하여 볼때 그 차이가 뚜렷함을 관찰할 수 있어, 인공해수중에서의 AE신호의 Duration 특성 또한 명확히 SCC전파거동의 의존성을 보이고 있음을 알 수 있다.

3-3 미시파괴 거동과 AE신호 특성과의 관계

지금까지 살펴본 Air상태 및 부식환경에서의 AE신호 특성이 미시파괴거동과 어떤 관계가 있는지, 각 변형단계에 따라 알아보기 위해 하중 변위선도상에서 제하(unloading)한

지점을 Fig. 10에 나타내었다.

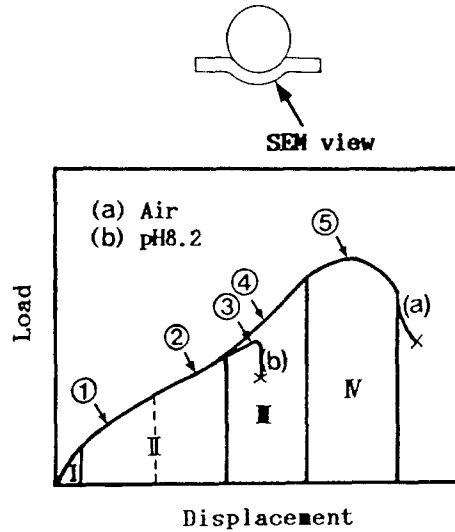


Fig. 10. Unloading points in load versus displacement curve.

Air의 경우는 ①④⑤지점에서, 부식환경에서는 ①②③지점에서 제하(unloading)한 후 시험재의 미시적 표면을 SEM으로 관찰하였다. SEM으로 관찰한 시험재의 표면부위는 그림 화살표 부위와 같고, 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 먼저 Air의 경우를 보면 소성균형영역의 ①지점과 소성막신장영역의 ④지점에서는 화살표로 표시된 부위에서 slip step을 관찰할 수 있다. 이때 ④지점에서 관찰된 slip step은 소성변형의 증가로 인해 ①지점의 경우보다 많은, 여러 step으로 형성되었음을 알 수 있다. 그리고 상당량의 소성변형을 한 소성불안전영역의 ⑤지점에서는 미시균열들이 시험재의 원주방향으로 생성되었음을 관찰할 수 있다.

따라서 이러한 변형 및 파괴거동을 AE의 평가인자들중 Fig. 8의 Air상태인 진폭거동과 비교해 볼때 시험초기부터 ④지점을 포함한 소성막신장영역까지는 낮은 진폭을 갖는 신호가 검출된 반면, 미시균열이 발생된 소성불안정영역에서 약 5dB의 비교적 큰 진폭을 갖는 신호가 검출되어 미시균열의 발생에 따른 AE신호의 높은 진폭거동을 확인할 수 있다.

그리고 AE신호의 Rise Time과 Duration의



point ①



point ①



point ④



point ④



point ⑤



point ⑤

a) Air

b) pH8.2

Fig. 11. SEM micrograph of specimen surface in Air and SSW (pH8.2).

특성을 보면 미시균열이 발생하는 소성불안정 영역에서는 비교적 낮은 특성을 보이나, 시험 초기의 소성굽힘영역의 전반부에서는 매우 높은 peak치를 갖는 신호가 검출되어 Rise Time과 Duration의 인자는 소성변형시 일어나는 slip step의 형성과 밀접한 관련이 있을 것이라고 생각된다.

이에 대해 Fig. 11의 부식환경의 경우를 보면 먼저 ①지점인 소성굽힘영역의 전반부에서는 화살표로 표시된 slip step부위에서 SCC의 기점이 될 수 있는 국부적인 공식(pitting)이 관찰되었다. 그리고 ②지점인 소성굽힘영역의 후반부에서는 미시적인 응력부식균열이 시험재의 원주방향으로 생성되었음을, 그리고 소성막신장영역의 P_{max} 부근인 ③지점에서는 ②지점에서 개시된 미시균열이 성장, 전파되었음을 관찰할 수 있다. 부식환경내에서의 이같은 파괴거동은 SCC기구인 전기화학적 현상과 기계적인 현상으로 설명할 수 있으며¹⁹⁾, 이같은 현상은 다시 AE신호의 특성치과 관련시켜 생각할 수 있다. 먼저 이 같은 미시파괴거동을 Fig. 7의 진폭분포와 비교해 보면 응력부식균열 발생의 잠복기로서 공식(pitting)이 발생한 제 2단계의 소성굽힘영역 전반부에서는 약 1~3dB의 비교적 낮은 진폭치를 갖는 신호가 검출되었음을 알 수 있다. 그리고 제 2영역의 후반부에서는 앞의 소성굽힘영역의 전반부보다 2배정도 높은 5~6dB의 peak치를 갖는 신호가 검출되었는데, 이는 전반부에서 생성된 국부적인 공식(pitting)부위에서 중요한 SCC기구중의 하나인 양극용해(anodic dissolution) 현상과 기계적인 파괴인 피막파괴(film rupture) 현상이 상호, 반복작용하여 생성된 미시균열의 개시에 의한 결과라고 생각된다. 주목할만한 사실은 이러한 진폭치는 Air상태에서 미시균열이 발생하는 소성불안정영역인 P_{max} 부근에서의 진폭치와 같아, 미시균열에 따른 평균진폭치의 일관성을 알 수 있다. 그리고 소성막신장영역에서 진폭거동중 가장 높은 peak치를 갖는 신호가 검출된 것은 Fig. 11의 ③지점의 사진에서 알 수 있듯이 소성굽힘영역의 후반부에서 생성된 미시균열이 SCC현상에 의해 시험재의 원주방향과 두께방향으로 전파하기 때문에 고 진폭을 갖는 신호가 발생한다고 생각된다. 즉 응력부식

균열의 전파시에는 상당히 높은 진폭을 갖는 AE신호가 검출됨을 알 수 있다. 따라서 전체적인 AE신호의 진폭거동으로 부터 해수중에서 SCC의 발생 및 전파거동을 보다 정확하게 평가할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 AE신호의 Rise Time과 Duration의 특성을 보면 소성굽힘영역의 전반부에서 큰 Rise Time과 Duration의 특성을 보이는 것은 Air상태와 같이 slip step의 형성과 관련이 있을 것으로 사료되며, 또한 소성막신장영역에서 소성굽힘영역의 후반부보다 더 큰 Rise Time과 Duration을 갖는 AE신호가 발생된 것은 소성굽힘영역 후반부에서 발생된 미시균열의 성장에 의한 결과라 생각된다.

지금까지 살펴본 Air상태와 부식환경에서의 미시파괴 거동과 AE신호 특성사이의 상호관계를 종합해 보면 다음과 같이 정리할 수 있다. 먼저 진폭특성은 slip step의 형성시보다는 균열발생시 그리고 균열발생시보다는 균열전파시에 고 진폭의 peak치를 갖는 AE신호가 발생함을 알 수 있다. 그리고 Rise Time 특성은 균열개시나 성장시보다는 slip step의 형성시에 보다 큰 peak거동을 보임을 알 수 있다. 그리고 Duration 특성은 균열개시의 경우보다는 slip step의 형성시, 그리고 slip step의 형성시보다는 균열전파시에 보다 높은 Duration을 갖는 AE신호가 발생함을 알 수 있다. 결과적으로 부식환경에서 응력부식균열의 미시파괴 거동을 평가할 때에는 위의 AE신호의 세 인자중 진폭분포에 의한 평가가 가장 유효함을 알 수 있다.

3-4. AE신호의 Intensity특성

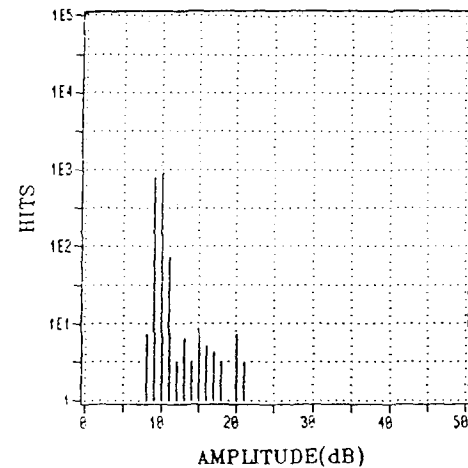
다음은 지금까지 살펴본 AE신호의 세 인자중 진폭과 Duration에 대한 발생 Hits의 Intensity 결과를 알아보기로 한다. 이때 진폭과 Duration은 시험중에 발생하는 AE신호의 각각의 신호에 해당되는 고유한 값이다. Fig. 12는 AE신호의 Amplitude에 대한 발생 Hits의 Intensity결과이다. 먼저 그림(a)의 Air상태의 경우를 보면 8~21dB의 범위를 갖는 신호가 발생하였음을 알 수 있다. 또한 그러한 진폭 범위중 10dB의 진폭특성을 갖는 AE신호가 가장 많이 발생하였고 12dB이상의 진폭특성을 갖는 신호는 적게 발생하였음을 알 수 있

다. 이에대해 그림(b)의 부식상태에서는 Air 상태에 비해 비교적 큰 진폭인 7~25dB의 범위를 갖는 신호가 발생되었으며, 진폭이 11dB에서 AE Hits의 peak치를 보이고 있다. 그리고 Air상태와는 다르게 12dB이상의 진폭을 갖는 신호도 총 발생 Hits의 21%인 약 6000개로써 상당량 발생되었음을 관찰할 수 있다.

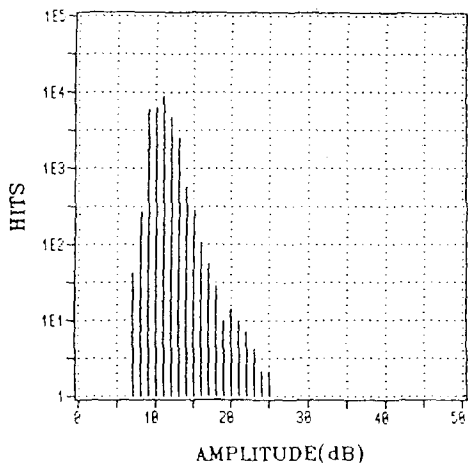
Fig. 13은 Air상태와 부식상태에서 Duration과 Hits의 관계를 각각 나타낸 AE신호의 Intensity결과이다. 먼저 그림(a)의 Air상태의 경우를 보면 발생신호의 Duration 분포는 1~

6000 μ s의 분포를 갖고며 그중 5 μ s이하의 Duration을 갖는 신호가 총 발생 Hits의 약 70%을 차지하였다. 반면에 그림 (b)의 부식상태에서의 Duration분포는 Air상태와 거의 유사한 1~6500 μ s의 분포를 갖는 신호가 검출되었으나 약 4500~5500 μ s의 Duration을 갖는 신호가 총 Hits의 약 33%인 9500개의 발생거동을 보여 Air상태에 비해 상당히 큰 Duration을 갖는 신호가 상당량 발생하였음을 알 수 있다.

이상의 결과로 부터 부식환경에서는 Air의 경우보다 높은 진폭과 Duration을 갖는 AE신호가 발생된다는 것을 알 수 있다. 이는 앞서

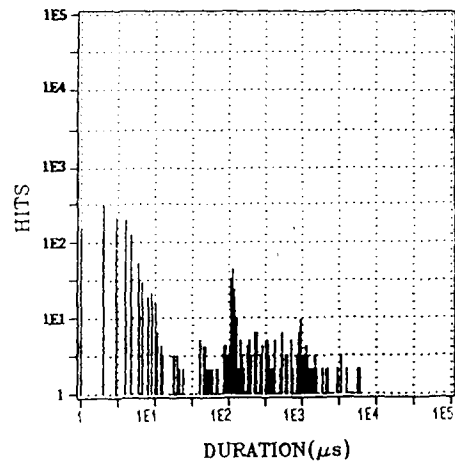


a) Air

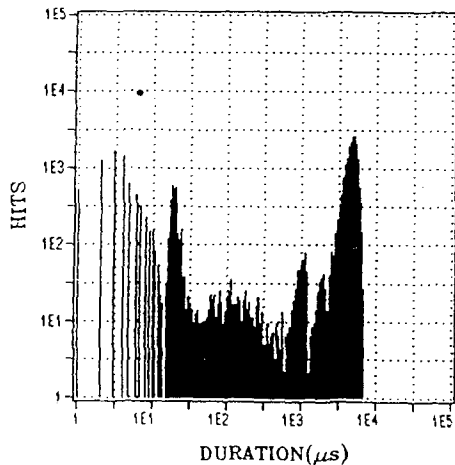


b) pH8.2

Fig. 12. Relationship between AE Hits and Amplitude in Air and SSW (pH8.2).



a) Air



b) pH8.2

Fig. 13. Relationship between AE Hits and Duration in Air and SSW (pH8.2).

설명한 부식환경에서의 SCC현상에 의한 미시파괴 거동에 의해 설명할 수 있다. 즉 부식환경에서는 전기화학적 현상과 기계적인 현상의 상호작용에 의해 Air상태에 비해 빠르게 균열이 개시되고, 또한 미시균열이 시험재의 원주방향이나, 두께방향으로 전파할 수 있는 잔여면적이 Air의 경우보다 상당히 크기 때문에 일어나는 결과라 생각된다. 그리고 균열선단부는 응력의 집중, pH의 저하, Cl 과 같은 음이온의 농도증가에 의해 취화되기 때문에 단위시간당의 균열진전속도가 Air의 경우보다 크기때문에 일어나는 결과라고 생각된다.

4. 결 론

음향방출(acoustic emission)시험에 의하여 Air상태와 인공해수(pH8.2)중에서 재료의 미시파괴 거동에 따른 AE신호 특성을 고찰해본 결과는 다음과 같다.

인공해수중에서 AE신호의 Amplitude와 Rise Time 그리고 Duration은 Air상태에 비해 매우 큰 peak치를 보여, 미시파괴 거동중에 발생된 AE신호는 뚜렷한 환경적 의존성을 보였다. 그리고 AE신호의 진폭특성은 slip step의 형성시보다는 균열발생시 그리고 균열발생시보다는 균열전파시에 고 진폭의 peak치를 갖는 AE신호가 발생함을 알 수 있었다. 그리고 Rise Time 특성은 균열개시나 전파시보다는 slip step의 형성시에, Duration 특성은 균열전파시에 가장 큰 peak거동을 보임을 알 수 있었다. 따라서 부식환경에서 응력부식균열의 미시파괴 거동을 평가할 때에는 위의 AE신호의 세 인자중 진폭특성에 의한 평가가 가장 유효함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. Shreir, L.L., et al., "Corrosion", Vol.1, Sec. 8, pp.3-25, (1979).
2. "Metals Handbook", Vol.13 Corrosion, ASM International, pp.145-162.
3. Andrew, J.F., et al., "Some Comparisons of Slow Strain-Rate Method with the Constant Strain and Constant Load Methods of Stress Corrosion Testing", ASTM STP 665, pp.347-362, (1979).
4. Wei, R.P. and Novak, S.R., "Interlaboratory Evaluation of K_{ISCC} Measurement Procedures for Steels", ASTM STP 821, pp.75-79, (1984).
5. Parkins, R.N., et al., "Development of Slow Strain-Rate Testing and Its Implications", ASTM STP 665, pp.5-24, (1979).
6. JAERI-memo(62-193), "小型パンチ(SP)試験法(案)", 日本原子力研究所, pp.1-135, (1987).
7. Hutton, P.H., "Acoustic Emission Applied Outside of the Laboratory" Acoustic Emission, ASTM STP 505, pp.114-128, (1972).
8. Dunegan, H.L. and Green, A. T., "Factors Affecting Acoustic Emission Response from Materials", ASTM STP 505, pp.100-113, (1972).
9. Keledy, F. C. and Hartman, W. F., "Some Examples of Evaluating Structural Integrity by Acoustic Emission Monitoring during Pressure Testing", ASTM STP 697, pp.35-46, (1979).
10. Miller, R. K. and McIntire, P. "Nondestructive Testing Handbook", Vol 5, 2nd., American Society for Nondestructive Testing, pp.12-22, (1987).
11. Liptai, R. G., Harris, D.O. and Tatro, C. A., "An Introduction to Acoustic Emission", ASTM STP 505, pp.3-10, (1972).
12. "Standard Specification for Substitute Ocean Water", ASTM D1141.
13. Parkins, R. N. "Corrosion Processes", pp. 271-298, (1982).