

인공해수의 pH에 따른 강 용접부의 응력 부식균열거동에 관한 연구

유효선* · 나의균** · 정세희***

A Study on the Stress Corrosion Cracking Behaviors for Weld Joint of Steel with Various pH Values in Synthetic Sea Water

H.S. Yu*, E.G. Na** and S.H. Chung***

Abstract

This paper was performed to study the utility of the SP(small punch) test and the AE(acoustic emission) test in the evaluation of SCC(stress corrosion cracking) susceptibility for parent metal and bond line of HT80 steel-weld joint by SAW(submerged arc welding) with the various pH values. The loading rate used was 3×10^{-4} mm/min and the corrosive environment used was synthetic sea water during the SP test and the AE test. According to the test results, the SCC susceptibility of the parent metal was increased in the order of pH6.0, pH8.2 and pH10.0. On the other hand, the bond line showed almost the same high SCC susceptibility in all pH concentrations. Synthetically, from the results of the SCC susceptibility, the macro- and micro-SEM observation, the microfracture behaviors by AE test and the relationship between SCC susceptibility and displacement at incipient failure, δ_{if-AE} , it can be concluded that the SP test and the AE test are the good test methods to evaluate the SCC susceptibility for parent metal and bond line of the weld joint with the change of environmental factors.

1. 서 론

금속재료의 응력부식균열(stress corrosion crack-

ing, SCC) 현상은 구조물의 재료 성분 및 용접 시공에 의한 재료의 미세조직 변화 등인 재료적 인자와 구조물의 응력상태인 역학적 인자 그리고 구조물이 처해있는 환경적 인자들의 상호작용에 의해 발생하는 매우 복잡한 파괴현상이다¹⁾. 이러한 인자들 중 환경적

* 정희원, 전북대학교 공과대학 강사

** 정희원, 군산대학교 기관학과

*** 정희원, 전북대학교 정밀기계공학과

인자들에는 부식용액의 산도(acidity, pH), 전위(potential), 온도 그리고 부식액의 유동속도 및 이온의 농도(concentration) 등의 변수들이 있으며²⁻⁴⁾, 이들 인자들은 상호 관련성을 갖고 용력부식거동에 큰 영향을 미친다. 그러므로 부식환경하에서 이들 인자들이 SCC 거동에 미치는 영향을 평가하는 것은 재료의 환경강도 평가에 있어서 매우 중요하다고 할 수 있다. 특히 부식환경에 놓여 있는 실기 대형 구조물에서 강 용접부의 용접영향부(heat affected zone, HAZ) 조직, 특히 본드선(bond line, B.L) 부위는 구조부재의 타조직에 비해 높은 SCC 감수성을 보이므로⁵⁾ 환경인자의 변화에 따른 재료의 SCC 거동은 모재와는 상당한 차이를 보일 것으로 사료된다. 그러나 지금까지의 연구보고는 주로 철강 모재에 국한된 환경인자의 변화에 따른 보고^{6,7)}가 대부분으로서, 강 용접부의 B.L 부위에 대한 고유한 SCC 감수성 평가보고는 시험편의 크기와 채취의 문제로 인해 그 수가 많지 않다.

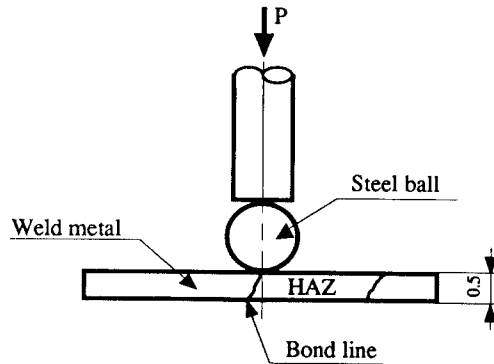
따라서 본 연구에서는 미소시험편을 사용한 SCC의 새로운 평가방법을 확립하는 것을 목적으로, 전보⁸⁾에서 강 용접부에 대한 국부조직의 SCC 평가에 그 유효성이 확인된 소형펀치(small punch, SP) 시험법을 이용하여 강 용접부의 B.L 부위를 대상으로 여러 환경적 인자들 중 부식액의 pH 농도에 따른 SCC의 감수성을 평가하여 모재조직의 SCC 특성과 비교, 고찰해 보고자 한다. 그리고 음향방출(acoustic emission, AE) 시험에 의해 각 미세조직의 미시파괴거동을 조사하여, 환경인자 변화에 따른 SCC 민감도와 초기파괴(incipient failure)점의 상호관계를 조사해 보

고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험편

본 연구에 사용된 HT80강재의 화학적 성분과 기계적 성질 그리고 용접블록의 잠호용접(submerged arc welding, SAW) 조건을 각각 Table 1, 2에 나타내었다. 시험편은 용접블록의 모재 및 B.L 부위에서 SP 시험편의 크기(10×10×0.5mm)로 채취하였고, 용접금속부의 시험편의 경우는 B.L이 미소시험편의 중앙에 위치하도록 하였다. 이때 시험편의 두께방향



Specimen size : 10 X 10 X 0.5mm

Fig. 1 Schematic illustration of loading method for SP specimen and specimen size

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of steel used

Chemical composition(wt, %)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
HT 80	0.11	0.2	0.7	0.003	0.2	0.7	0.48	0.39	

Mechanical properties

Steel	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
HT 80	794	834	30.0

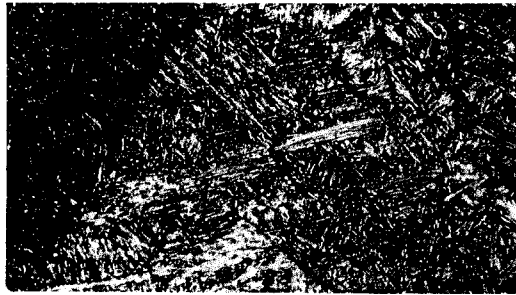
Table 2 Welding conditions of SAW for HT80 steel used

Steel	Heat input (kJ)	Preheating (°C)	Current (A)	Voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Flux
HT 80	30	150	550	30	33	KB-80C

은 압연강재의 T방향(longitudinal direction)으로 하였다. Fig. 1에 B.L 부위의 SP시험편에 대한 부하 방식과 시험편의 크기를 나타내었다. Fig. 2는 HT80 강재의 모재와 용접부조직의 미세조직 사진으로 사진 a)의 모재조직은 층상 펄라이트(pearlite)조직이고, 사진 b)에서 HAZ측 조직은 조대한 마르텐사이트(martensite)와 베이나이트(bainite)의 혼합조직으로 구성되어 있으며, 용접금속(weld metal)의 조직은 미세한 페라이트(ferrite)조직으로 구성되어 있음을 관찰할 수 있다.



a) Parent metal



b) Bond line
50µm

Fig. 2 Microstructures of parent metal, weld metal and bond line by SAW of IIT80 steel

2.2. 실험방법

Fig. 3은 SP시험장치로서, 실험시 부하속도는 일련의 실험에서 SCC 평가에 유효한 부하속도로 확인된 3×10^{-4} mm/min로 하였다⁹⁾. SCC 감수성 평가 인자로서 사용된 SP-에너지(E_{SP})는 미소시험편의

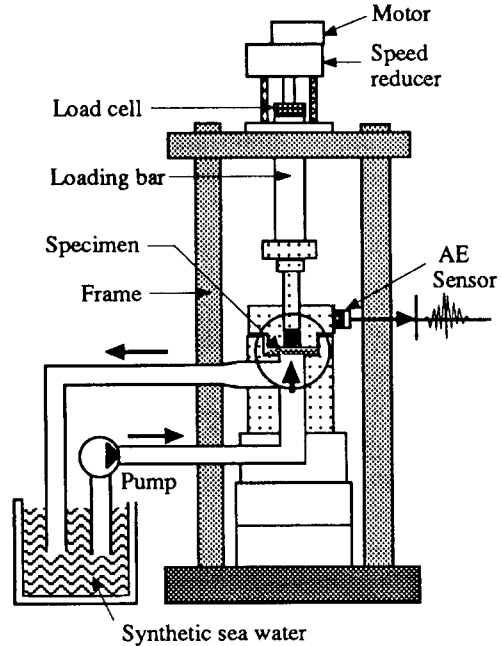


Fig. 3 Schematic diagram of SP test equipment

하중-변위곡선의 아래면적으로 계산하였다. 시험의 부식환경은 본 시험재가 해양구조물용 강재로 널리 사용되고 있음을 고려하여 인공해수(synthetic sea water, SSW)로 하였다¹⁰⁾. 인공해수의 순환속도는 대기 개방상태에서 50ml/min의 일정한 속도로 순환시키면서 자연부식전위(E_{Corr})에서 실험을 행하였다. 이때 pH의 조절은 25%의 HCl과 0.1N NaOH용액을 이용하여 각각 pH6.0, pH8.2 그리고 pH10.0으로 pH농도를 조절하였다. 그리고 시험 중의 pH값의 변화를 최소화하기 위해 12시간마다 pH값을 측정하여 그의 변화량을 보정하였다. 시험후 전자현미경(scanning electron microscope, SEM)을 이용하여 거시적, 미시적 파단면을 관찰하였다.

한편, AE시험에서 사용된 센서는 50~1000kHz의 주파수 범위를 감지할 수 있는 압전형 변환기를 사용하였다. 이때 센서(sensor)의 부착은 시험지그의 상부다이 측면에 클램프(clamp) 및 토크렌치를 사용하여 일정압력으로 부착시켰다. 그리고 센서에서 검출된 신호는 전치증폭기(pre-amplifier)에서 40dB 증폭한 후, 다시 주증폭기(main-amplifier)에서 40dB 증폭하여, 총 이득(total gain)은 80dB로 하였다. 잡음

(noise)의 제거를 위해 100~1200kHz의 대역 필터링을 하였으며, 초기전압(threshold voltage, V_{th})은 3.55mV로 설정하였다. AE시험의 평가인자는 AE 신호의 파형특성중 진폭(amplitude)으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 pH의 변화에 따른 SCC 거동

모재와 B.L 부위를 대상으로 pH농도가 각기 다른 세 종류의 인공해수중에서 얻은 하중-변위선도들을 대기상태의 경우와 함께 Fig. 4에 나타내었다. 먼저 부식환경에서 모재인 곡선 ②, ③, ④의 경우를 보면, pH농도가 산성쪽으로 갈수록 하중-변위거동은 감소하고 있어, 모재의 파괴거동은 뚜렷한 pH농도의 의존성을 보이고 있다. 특히 pH10.0의 알칼리성 해수중에서의 파괴거동은 대기상태의 경우인 곡선 ①과 큰 차이를 보이지 않아 SCC 현상이 일어나지 않았음을 예견할 수 있다. 이에 반해 곡선 ⑥, ⑦, ⑧의 B.L 부위의 경우는 세 종류의 pH농도에 있어 모두

곡선 ⑤의 대기상태에 비해 매우 낮은 하중-변위거동을 보이고 있다.

Fig. 5는 부식환경하에서 얻은 모재 및 B.L 부위의 하중-변위선도로부터 구한 파괴에너지(E_{SP})를 pH값에 대해 나타낸 그림으로, 먼저 모재의 경우를 보면 pH10.0, pH8.2 그리고 pH6.0의 경우, E_{SP} 는 각각 2.21 kN·mm, 1.51kN·mm 그리고 0.96kN·mm의 값을 보여, pH의 값이 저하함에 따라 E_{SP} 값은 크게 저하하고 있음을 관찰 할 수 있다. 이때 pH6.0에서 가장 낮은 E_{SP} 를 보이는 이유는 용액내에 존재하는 높은 수소이온농도가 주요 원인이라 생각된다. 종래, 용액내의 수소이온농도가 증가함에 따라 소성변형하는 시험편의 표면에 수소의 흡착률이 증가하고, 슬립(slip)의 형성이 용이해진다고 알려져 있다¹¹⁾. 따라서 세 종류의 pH농도중 가장 수소이온농도가 높은 pH6.0의 부식환경하에서 미소시험편의 소성변형과 함께 나타나는 슬립대(slip band)의 형성이 가장 용이하며, 따라서 SCC의 기점이되는 공식(pit)의 발생이 pH8.2와 pH10.0의 경우보다 빠를 것으로 생각된다. 그리고 이러한 수소는 국부적인 공식이나 균열선단부에서 재료를 취화시켜¹²⁾, SCC의 발생을 가속시킴으로 pH6.0의 경우가 가장 낮은 E_{SP} 값을 보이는 것으로 사료된다.

이에 반해 B.L 부위의 경우는 pH6.0, pH8.2 그리고

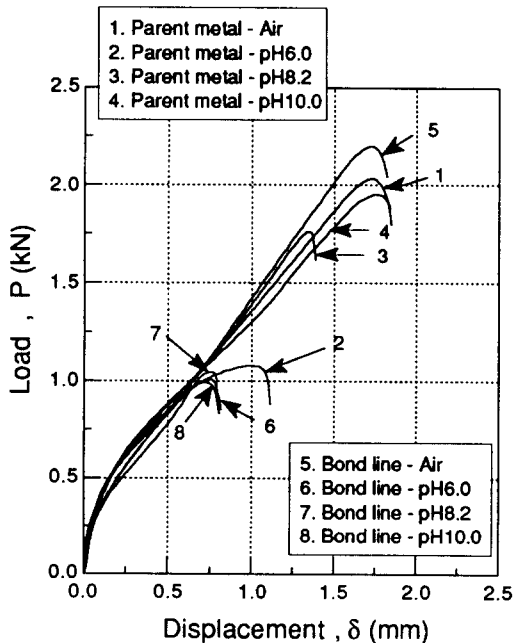


Fig. 4 Load vs displacement curves for HT80 steel-weld joint by SAW in SSW(synthetic sea water) of pH6.0 pH8.2 and pH10.0 and in air

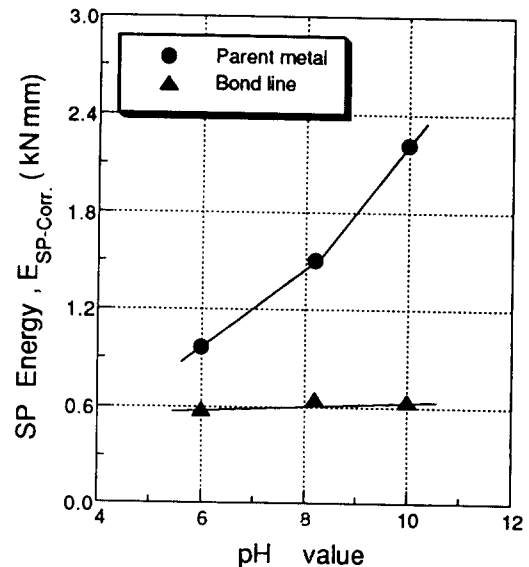


Fig. 5 Relationship between SP energy(E_{SP}) and various pH values in HT80 steel-parent metal and bond line by SAW

pH10.0의 경우에 각각 $0.58\text{kN} \cdot \text{mm}$, $0.65\text{kN} \cdot \text{mm}$ 그리고 $0.64\text{kN} \cdot \text{mm}$ 의 E_{SP} 값을 보여, 세 종류의 pH 농도에 있어 모두 매우 낮은 파괴에너지의 분포를 나타내고 있다. 또한 이러한 결과는 Fig. 6에 나타난 세 종류의 pH농도에 따른 두 시험편의 SCC 민감도의 결과에서도 관찰할 수 있다. 여기서 각 시험편의 SCC 민감도는 대기상태와 부식환경에서의 파괴에너지의 비를 이용한 아래식으로부터 계산하였다¹³⁾.

$$\text{SCC susceptibility} = [1 - (E_{SP, \text{Corr.}} / E_{SP, \text{Air}})]$$

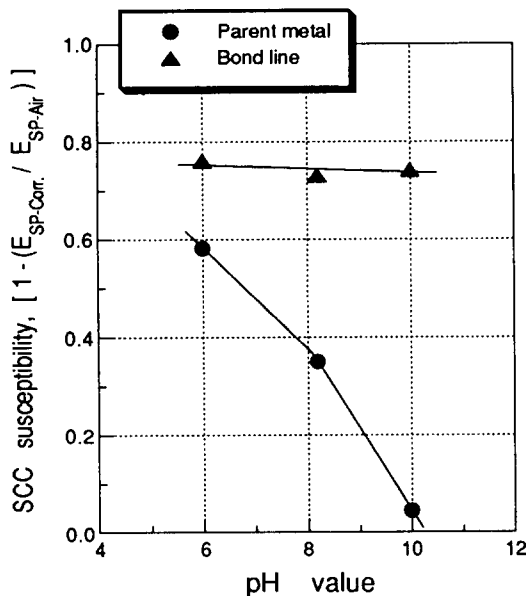


Fig. 6 Relationship between SCC susceptibility and various pH values in HT80 steel-parent metal and bond line by SAW

그림에서 모재의 SCC 민감도는 pH6.0, pH8.2 그리고 pH10.0의 경우에 각각 0.58, 0.35, 그리고 0.04를, B.L 부위는 거의 같은 0.73으로서 높게 나타내고 있다.

이상의 실험결과들을 정리하면 모재의 경우는 부식용액의 pH농도에 따라 뚜렷한 SCC 거동의 차이를 나타내고 있는 반면, B.L 부위는 약산성(pH6.0)의 해수뿐만 아니라 pH10.0의 알칼리성 부식환경에서도 SCC 감수성 정도가 매우 높게 나타나, pH농도의 차이에 관계없이 모두 민감한 SCC 감수성을 보이고 있음을 알 수 있다.

이때 pH10.0의 알칼리성 인공해수중에서 모재의 경우는 SCC가 관찰되지 않은 반면, B.L 부위의 경

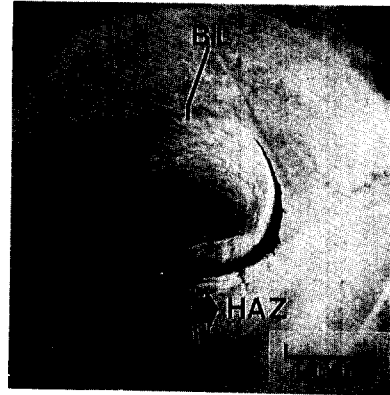
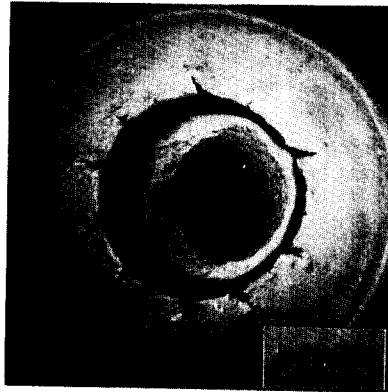
우는 뚜렷한 SCC 거동을 보인 이유는 두 시험편의 미세조직의 차이때문이라 생각할 수 있다. 즉, 필라이트 조직으로 구성된 모재조직에 대해 B.L 부위의 HAZ는 용접열에 의한 열처리 효과에 의해 취화된 불 균일한 마르텐사이트조직으로 구성되어 있으며, 또한, 모재조직에 비해 약 3~4배 정도 큰 80~100 μm 의 조대한 입자로 구성되어 있기 때문에 알칼리성 해수중에서도 높은 SCC 거동을 나타내는 것으로 생각된다. 종래, 이와 같은 HT80 고장력강에서의 B.L 부위에 대한 SCC의 연구보고를 찾아 볼 수 없기 때문에 본 연구의 시험결과를 종래의 시험결과와 비교할 수 없지만, 탄소강의 경우 pH10.0 이상의 높은 알칼리성 수용액에서도 SCC가 일어날 수 있다는 연구보고¹⁴⁾와 미세조직의 입자크기가 증가할수록 SCC의 민감도는 증가된다는 연구보고¹⁵⁾로 이를 추정할 수 있다.

3.2 pH의 변화에 따른 모재와 B.L부위의 파단면 관찰

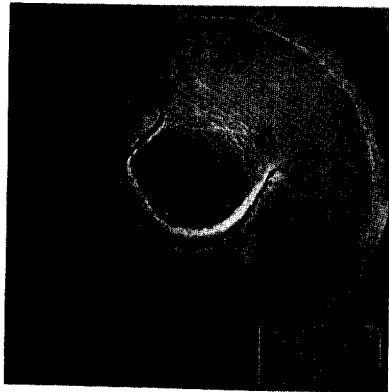
pH의 변화에 따른 모재 및 B.L 부위의 파단면 양상을 SEM으로 관찰한 결과는 Fig. 7 및 Fig. 8과 같다. 먼저 Fig. 7의 거시적 파단면 거동을 보면, 사진(A)인 모재의 경우 pH6.0인 약산성의 해수에서는 매우 적은 소성유동을 한 후 파단되었음을 알 수 있고, 주균열 방향에 수직한 2차균열이 여러 부위에서 생성, 전파되었음을 관찰할 수 있다. 그리고 이때의 2차균열 길이는 pH8.2의 거시적 파면에서 관찰된 2차균열 길이보다 커, pH농도의 저하에 따른 SCC 감수성 정도의 증가를 명확하게 알 수 있다. 그러나 사진(c)의 pH10.0인 경우를 보면, 시험편은 상당량의 소성 유동을 한 후 파괴되어 연성적인 파괴거동을 관찰할 수 있다.

이에 반해 사진(B)인 B.L 부위의 거시적 파단면 사진을 보면, 세 종류의 pH농도에 있어 모두 시험체의 반구 정점으로부터 매우 짧은 거리지점에서 원주방향으로 균열이 전파되어 파단되었음을 관찰할 수 있다. 그리고 굵은선으로 표시된 B.L를 기준으로 응력부식균열은 세 종류의 pH농도에서 모두 HAZ측 부위에서 크게 전파되어, HAZ측이 용접금속측보다 높은 SCC 감수성을 나타내고 있음을 거시적 파단면 관찰로부터 명확히 확인할 수 있다.

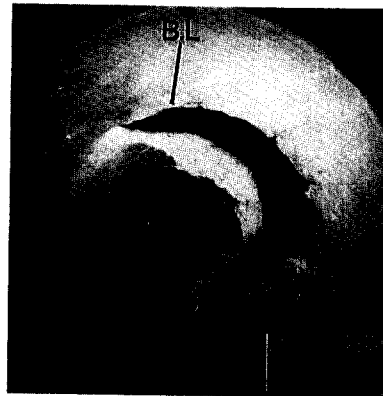
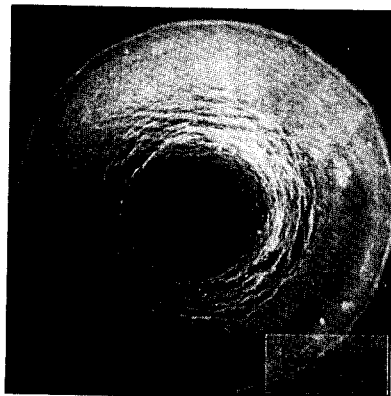
한편, Fig. 8의 미시적 파단면 사진을 보면, 모재의



a) pH6.0



b) pH8.2

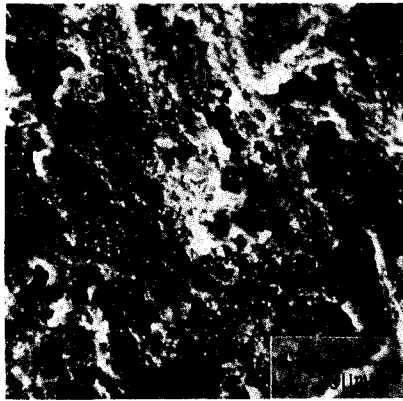


c) pH10.0

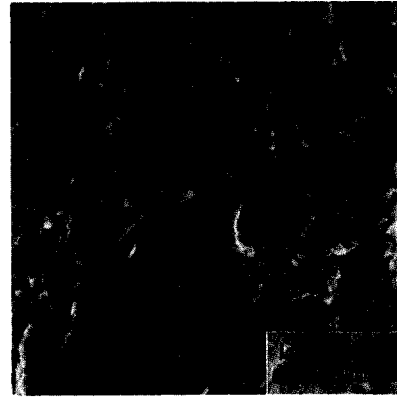
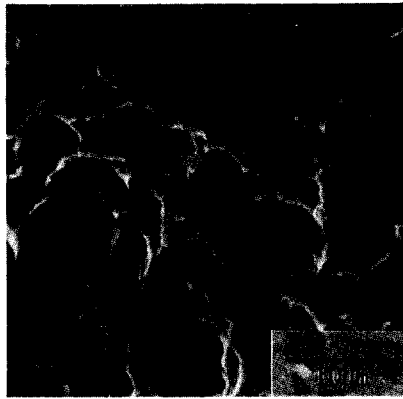
A) Parent metal

B) Bond line

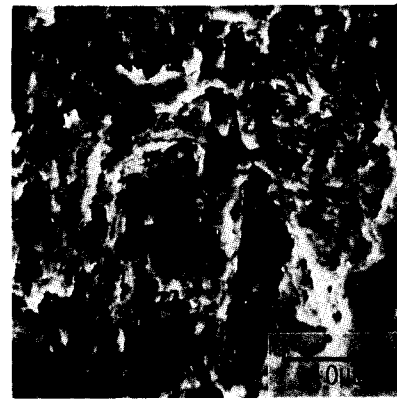
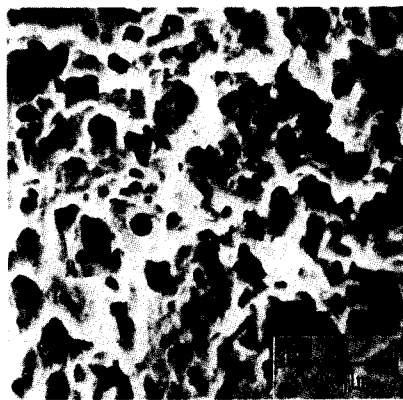
Fig. 7 SEM macrofractographs for HT80 steel-parent metal and bond line by SAW in SSW of pH6.0, pH8.2 and pH10.0



a) pH6.0



b) pH8.2



c) pH10.0

A) Parent metal

B) Bond line

Fig. 8 SEM microfractographs for HT80 steel-parent metal and bond line by SAW in SSW of pH6.0, pH8.2 and pH10.0

경우 pH6.0의 파면은 전형적인 입내파괴(transgranular fracture) 양상을 나타내고 있어 뚜렷한 SCC 거동을 확인할 수 있다. 그리고 상당량의 소성유동을 한 후 파단된 pH10.0의 경우에는 전형적인 연성파면에 가까운 덩플파면을 나타내고 있어, 모재의 경우 pH10.0의 알칼리성 해수 중에서는 SCC가 일어나지 않음을 미시 파면사진으로부터도 명확하게 관찰할 수 있다. 그리고 중성의 pH농도인 pH8.2의 경우에는 덩플파면과 입내파면이 혼재된 의벽개파괴(quasi-brittle fracture) 양상을 나타내고 있어, 모재 조직의 경우 pH8.2는 quasi-SCC를 일으키는 pH농도임을 알 수 있다. 이에 반해 B.L 부위의 미시 파면사진을 보면, 세 종류의 pH농도에 있어 모두 입내파면이 관찰되어 매우 민감한 SCC 거동을 뚜렷하게 확인할 수 있다. 이상의 시험결과들, 즉 모재와 B.L부위의 하중-변위 거동(Fig. 4), E_{sp} (Fig. 5), SCC 민감도(Fig. 6) 그리고 거시적, 미시적 파단면(Fig. 7, Fig. 8) 등을 종합하여 고찰해 볼때, 미소시험편을 이용한 SP시험법은 모재 및 B.L 부위에 대한 환경인자의 변화에 따른 SCC 평가에 있어 우수한 새로운 SCC 시험법으로 정리할 수 있다.

3.3 pH의 변화에 따른 AE 거동

다음은 SP시험에 의해 모재 및 B.L 부위를 대상으로 SCC 평가시 검출된 AE신호의 진폭특성을 분석하여 pH변화에 따른 모재 및 B.L 부위의 미시파괴거동을 조사하였다.

Fig. 9는 모재의 경우 각각의 pH농도에 있어 일정시간(40min.)동안에 검출된 AE신호의 평균 AE진폭거동을 하중-변위선도와 함께 나타낸 그림이다. 먼저 그림 a)인 pH6.0의 경우를 보면, 변위 0.62mm 지점에서 SCC에 의한 초기파괴(incipient failure)의 평균진폭 특성치로 확인된¹⁶⁾ 약 5dB의 평균 AE진폭거동을 보여, 이 지점에서 미시균열의 개시가 이루어졌음을 알 수 있다. 이에 반해 pH8.2의 경우는 P_{max} 부근인 변위 1.2mm 지점에서 그리고 pH10.0의 경우는 변위 1.25mm 지점에서 약 5dB의 평균 AE진폭거동을 보이고 있음을 관찰할 수 있다. 따라서 이상의 세 종류의 pH농도에서 검출된 신호의 평균 AE진폭거동을 비교하여 볼 때, 산성에 가까운 pH6.0의 경우가 pH8.2와 pH10.0의 경우보다 응력부식균열이 가장 빠르게 개시되었음을 명확하게 알 수 있다.

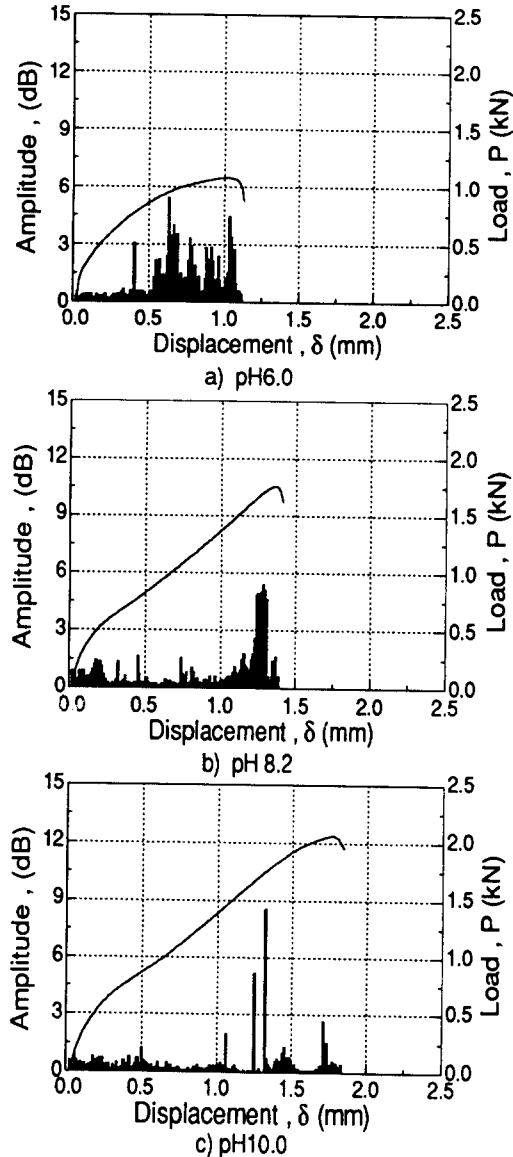


Fig. 9 AE amplitude distribution plotted along with the load vs displacement behavior for HT80 steel-parent metal in SSW of pH6.0, pH8.2 and pH10.0 (total gain : 80dB, threshold : 3.55mV)

또한 pH6.0, pH8.2 그리고 pH10.0에서의 평균 AE진폭의 총 누적은 각각 110dB, 105dB 그리고 68dB의 값을 보여, SCC 민감도가 가장 큰 pH6.0에서 가장 높은 누적 평균 AE진폭 특성을 보였다.

한편, Fig. 10의 B.L 부위의 경우를 보면, 세 종류의

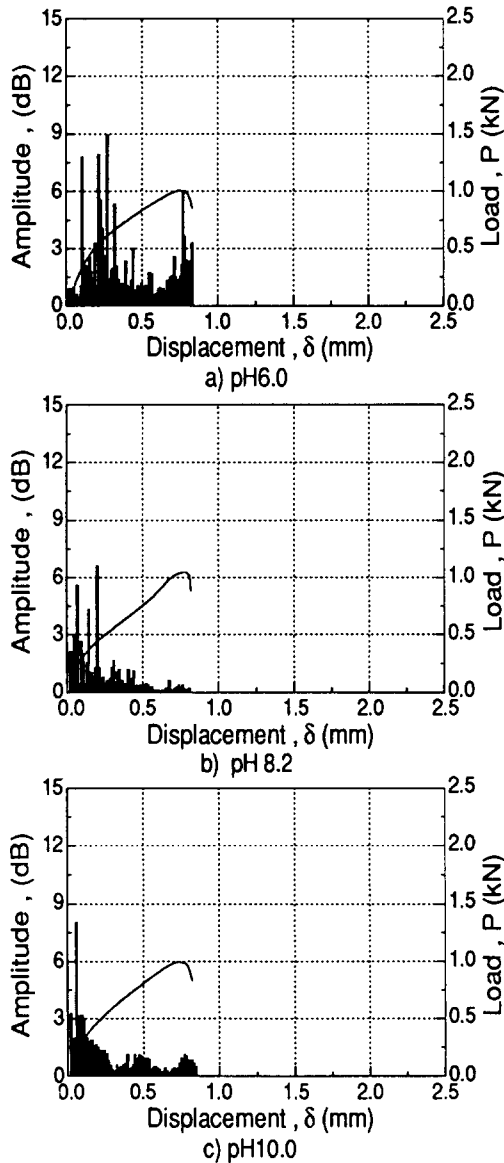


Fig. 10 AE amplitude distribution plotted along with the load vs displacement behavior for HT80 steel-bond line in SSW of pH6.0, pH8.2 and pH10.0 (total gain : 80dB, threshold : 3.55mV)

pH농도에 있어 모두 시험전반부에서 초기파괴의 평균진폭 특성치 및 그 이상의 값을 보여, B.L 부위는 약산성 및 중성 그리고 알칼리성 해수분위기에서 모두, 빠르게 응력부식균열이 개시, 전파되었음을 평균 AE진폭거동으로부터 알 수 있다.

한편, pH6.0, pH8.2 그리고 pH10.0에서 평균 AE 진폭의 peak 치를 보면 각각 9dB, 6.5dB 그리고 7.5 dB를 나타내고 있어 약산성 해수에서 가장 높은 평균진폭의 peak 치를 보이고 있음을 알 수 있다.

또한 pH6.0의 경우, 이러한 B.L 부위의 평균 AE 진폭분포를 모재와 비교해 보면, 모재는 시험후반부인 변위 0.62mm 지점에서, B.L 부위는 모재보다 빠른 시험전반부인 변위 0.1mm 지점에서 뚜렷한 진폭의 peak 거동을 나타내고 있어, 약산성의 부식환경에서도 모재보다 B.L 부위가 빠른 SCC의 미시 파괴거동을 보이고 있음을 알 수 있다.

이상의 모재 및 B.L 부위에 있어 AE시험결과로부터 얻은 각 시험편의 초기파괴점의 변위(δ)와 SP시험에 의해 얻은 SCC 민감도 사이의 결과를 비교해 보면 Fig. 11과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 SCC 민감도가 증가함에 따라 초기파괴점의 변위는 감소하고 있음을 알 수 있다. 특히할만한 사실은 각 데이터점을 이은 선도상에 변곡점이 존재한다는 사실이며, 그리고 이러한 변곡점의 위치는 quasi-SCC가 일어난 pH8.2의 모재임에 주목할 필요가 있다. 따라서 지금까지 살펴본 각 시험편의 미시파괴과정에 따른 AE시험결과들로부터 환경인자 변화에 의한 SCC

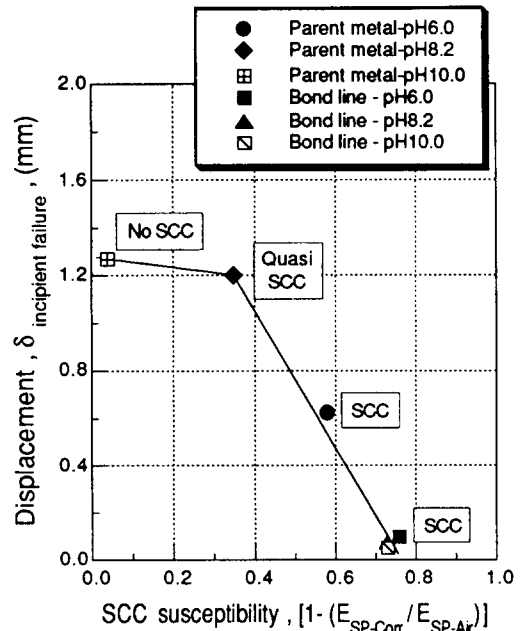


Fig. 11 Relationship between SCC susceptibility and δ_{i-AE} with the pH values in HT80 steel-weld joint

감수성 평가에 있어 음향방출시험의 적용 가능성을 확인할 수 있으며, 또 모재 및 B.L 부위의 SP시험 결과의 유효성 및 신뢰성을 확인할 수 있다.

4. 맺음말

미소시험편을 사용한 SCC의 새로운 평가방법을 확립하는 것을 목적으로, SP시험과 AE시험을 이용하여 강의 모재 및 용접부의 B.L 부위를 대상으로 인공해수중에서 세 종류의 pH농도에 따른 SCC 및 미시파괴거동에 대한 시험결과는 다음과 같다.

1. pH6.0, pH8.2, pH10.0에서 모재조직의 SCC 민감도는 각각 0.58, 0.35, 0.04를 나타내어, pH값이 감소함에 따라 높은 SCC 민감도를 보였다. 반면, B.L 부위는 세 종류의 pH농도에서 거의 같은 0.73을 나타내고 있어, 약산성의 부식환경 뿐만 아니라 pH10.0의 알칼리성 부식환경하에서도 높은 SCC 민감도를 보였다.

2. 모재에 있어 pH6.0, pH8.2, pH10.0의 경우에 미시파면양상은 각각 입내파면, 의벽개파면 그리고 덩굴파면을 보여, 약산성의 부식환경으로 갈수록 뚜렷한 취성적 파괴거동을 보였다. 이에 반해 B.L 부위의 경우는 세 종류의 pH농도에 있어 모두 입내파면을 보여, 부식환경하에서의 매우 높은 SCC 감수성 거동을 확인할 수 있었다.

3. 모재의 경우 pH6.0, pH8.2, pH10.0의 인공해수중에서 AE신호의 초기파괴의 평균진폭 특성치를 보인 변위는 pH농도가 약산성쪽으로 저하함에 따라 즉, SCC 민감도가 증가할수록 시험편의 변형단계 전반부에 가까워짐을 알 수 있었다.

4. B.L 부위의 경우는 모두 시험전반부에서 초기파괴의 평균 AE진폭 특성치 및 그 이상의 값을 보여, 약산성 및 중성 그리고 알칼리성 해수분위기에서 모두 빠르게 균열이 개시, 전파되었음을 알 수 있었다.

5. 이상의 모재 및 B.L 부위에 대한 E_{sp} 거동, SCC 민감도, SEM 관찰 그리고 AE시험의 미시파괴거동, SCC 민감도와 AE에 의한 초기파괴점과의 상관관계 등의 고찰로부터 SP시험 및 AE시험은 환경인자의 변화에 대한 SCC 평가시 매우 우수한 시험방법임을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 학술진흥재단 93년도 국제협력연구지원 연구비에 의해서 이루어진 연구결과의 일부로서, 본 연구를 수행할 수 있도록 지원해주신 재단에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 駒井謙治郎 : 環境. 高温強度學, 總合材料強度學講座, Vol. 7, (1984), pp. 3~9.
2. H. E. Townsend : Hydrogen Sulfide Stress Corrosion Cracking of high Strength Steel Wire, Corrosion, Vol. 28, (1972), p. 39.
3. R. N. Parkins, P. W. Slattery and B. S. Poulson : The Effects of Alloying Additions Cracking Resistance, Corrosion, Vol. 37, No. 11, (1981), pp. 747~761.
4. M. J. Blackburn, W. H. Smyrl and J. A. Sweeny : Stress Corrosion Cracking in High Strength Steels and in Titanium and in Aluminum Alloys, Naval Research Laboratory, (1972), pp. 246~263.
5. 松島巖 : 銲接部の應力腐食割れと對策, 銲接部の腐食(IV), 日本銲接學會誌, 第 61 卷, 第 4 號, (1991), pp. 269~277.
6. J. H. Payer, W. E. Berry and W. K. Boyd : Evaluation of Slow Strain-Rate Stress Corrosion Tests Results, ASTM STP 665, (1979), pp. 61~77.
7. N. J. H. Holroyd and G. M. Scamans : Slow-Strain-Rate Stress Corrosion Testing of Aluminum Alloys, STP 821, (1984), pp. 202~241.
8. 유효선, 임재규, 정세희 : 미소시험편에 의한 강 용접부의 응력부식균열 평가에 관한 연구, 대한 용접학회지, 제 12권, 제 4호, (1994), pp. 411~423.
9. 유효선, 이송인, 임재규, 정세희 : 소형편치시험법에 의한 응력부식균열평가에 관한 연구, 대한 기계학회지, 제 17권, 제 8호, (1993), pp. 2033~2042.
10. Standard Specification for Substitute Ocean Wa-

- ter : ASTM-D1141.
11. W. L. Clarke, R. L. Cowan and W. L. Walker : Comparative Methods for Measuring Degree of Sensitization in Stainless Steel, ASTM STP 656, (1978), pp. 99~132.
 12. E. Snape : Sulfide Stress Corrosion of Some Medium and Low Alloy Steels, Corrosion, Vol. 23, (1967), p. 154.
 13. R. N. Parkins : Environmental Aspects of Stress Corrosion Cracking in Low Strength Ferritic Steels, NACE-5, (1973), pp. 601~624.
 14. W. Frank and L. Graf : Mechanism of Intergranular Stress Corrosion Cracking in Mild Steels, Res. Mech., Vol. 13, (1985), p. 251.
 15. E. E. Hofmann, E. Martin and H. Kupper : Embrittlement of Various Steels by Absorption of Hydrogen from Wet Hydrogen Sulfide, Arch. Eisenhüttenwesen, Vol. 39, (1968), p. 677.
 16. 유효선, 정세희 : 음향방출시험에 의한 고장력강의 응력부식균열전파거동에 관한 연구, 한국재료학회지, 제 3권, 제 4호, (1993), pp. 361~371.