

# 강 용접부의 응력부식균열 평가와 그의 AE신호 특성

- SCC evaluation and AE signal characteristics of welded  
steel joint by means of small punch test -

유 효선\* 이 송인  
(전북대학원)

임 재규 정 세희  
(전북대학교)

## 1. 서 론

종래의 SCC(Stress Corrosion Cracking)평가방법은 여러방법으로 평가되어져 왔으나, 이들 중 저변형율시험(slow strain rate test: SSRT)법은 재료에 일정한 저변형속도를 가해줌으로써 부식환경내에서 빠른속도로 기계적인 파괴와 전기화학적인 파괴를 일으켜 재료의 응력부식균열 감수성을 평가하는 시험방법이다. 그러나 이러한 인장시험편을 이용한 저변형율시험(SSRT)방법은 용접 열이력에 의해 다양한 조직이 생성되는 용접부의 국부부위에 대한 정확한 SCC감수성평가가 상당히 어렵다. 따라서 본 연구에서는 미소시험편을 이용한 SP(small punch)시험에 의해 인공해수중에서 해양구조물용 강재인 HT80강 용접부의 SCC감수성을 평가하고자 한다. 또한 최근 비파괴시험(non-destructive test: NDT)방법으로 알려진 AE(Acoustic Emission)시험을 도입하여 부식환경에서 응력부식 균열성장에 따른 AE신호특성을 조사함으로써, 응력부식에 의한 미시파괴 거동을 보다 정량적으로 평가하고자 한다.

## 2. 시험재 및 실험방법

### 2-1) 시험재

본 연구에 사용된 재료는 HT80강재의 LT방향으로 모재 및 용접부의 toe HAZ부와 용착금속(weld metal)부위에서 SP시험편의 규격인 10mm×10mm×0.5mm의 크기로 시험편을 제작하였다. 부식환경은 pH8.2의 인공해수(synthetic sea water)로 자연부식-전위( $E_{corr}$ )에서 실험을 행 하였다.

### 2-2) SP(Small Punch)-AE(Acoustic Emission)시험방법

SP시험은 SSRT시험기(용량 2ton)를 사용하여 펀치선단에 HRC 62~67의 경도를 갖는  $\phi 2.4$ mm의 강구를 놓고 이를 통하여 시험편의 상부에  $3 \times 10^{-4}$ mm/min로 하중을 가 한다. 또한 SP시험 중에 발생하는 신호처리는 Fig.1에 나타낸 AE측정 system을 통하여 이루어졌다.

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3-1) 각 조직의 하중-변위선도

Air상태 및 pH8.2인 인공해수중에서의 모재 및 toe HAZ 그리고 용착금속조직에 대한 하중-변위선도의 결과는 Fig.2와 같다. 먼저 Air상태에서의 각 미시조직의 하중-변위선도

상의 최대하중( $P_{max}$ )을 보면 용착금속조직이 2.3kN을 보여, 타조직에 비해 약간 큰  $P_{max}$  거동을 보이고 있다. 그러나 최대변위( $\delta_{max}$ )의 본포거동은 세 조직에서 거의 같은 거동을 보이고 있음을 관찰할 수 있다. 이에 대해 pH8.2의 인공해수환경에서 하중-변위선도의 거동을 보면  $P_{max}$  및  $\delta_{max}$ 는 용착금속, 모재, toe HAZ의 조직순으로 저하를 보이고 있는데 이들중 toe HAZ조직은  $P_{max}$ 가 1.1kN,  $\delta_{max}$ 는 0.8mm를 보여 Air상태와 비교해 볼때, 타 조직에 비해 가장 큰 하중, 변위의 저하를 보이고 있다. Fig.3은 하중-변위선도에서 얻은 SP-Energy(Esp)를 이용하여 각 조직의 SCC민감도를 나타낸  $(Esp)_{pH8.2} / (Esp)_{Air}$ 의 관계 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 toe HAZ조직이 가장 큰 SCC민감도를 보이고 있음을 확인 할 수 있다. 이같은 결과는 재료의 미세조직에 의한 결과로서 toe HAZ의 조직은 용접열 이력에 의해 취화된 조대한 마르텐사이트조직과 베이나이트조직의 생성에 기인한 결과로 사려된다. 따라서 위의 결과를 고찰해 볼때 미소시험편을 이용한 SP(small punch)시험은 용접부 각 미세조직의 고유한 SCC평가가 가능함을 확인 할 수 있어, 종래의 시험방법에 비해 매우 우수한 시험방법으로 생각된다.

### 3-2) SP-SCC의 AE activity거동

용접부 각 미세조직에 대한 Air상태 및 인공해수중에서의 음향방출거동을 하중-변위선도와 함께 나타낸 결과는 Fig.4의 (A), (B), (C)와 같다. 먼저 각 그림의 누적 AE발생거동을 보면 Air상태에 비해 부식환경에서 더 많은 AE Hits가 발생하였음을 세 조직에서 공히 확인할 수 있다. 먼저 Air상태의 경우만을 보면 모재조직에서는 시험초기부터 파괴점까지 AE신호가 거의 일정하게 발생된 반면, toe HAZ조직의 경우는 시험초반부 즉 SP시험의 파괴거동중 소성균형영역 초반부에서 가장 많은 신호가 발생되었음을 알 수 있다. 그리고 용착금속조직에서는 시험 후반부인 소성막불안정영역에서 상당히 많은 AE Hits가 발생되었다. 따라서 이같은 AE Hits거동으로 부터 모재조직이 가장 균일한 조직으로 구성되었음을 알 수 있으며, toe HAZ조직은 모재 및 용착금속조직에 비해 취화성질을 지닌 조대한 조직으로 구성되어 시험초반에 조직내의 미세균열이 발생, 전파되었음을 알 수 있다.

인공해수중에서 각 미세조직의 총 누적 Hits를 보면 모재의 경우는 90879개, toe HAZ부에서는 2229개 그리고 용착금속의 경우는 25031개의 AE발생거동을 보여, 모재조직에서 가장 많은 AE가 발생하였다. 주목할만한 사실은 세 조직의 AE발생거동을 살펴볼때, toe HAZ조직이 타조직의 경우 보다 상당히 이른 소성균형영역의 초반부에서 많은 AE가 발생하고 있다는 사실이다. 이에 반해 모재조직은  $P_{max}$ 이전인 소성막신장영역에서 급격한 AE발생거동을 보이고, 용착금속의 경우는 시험초기부터 파괴점까지 거의 단계적인 AE발생거동을 보이고 있다. 이같은 사실로 부터 취성의 성질을 지닌 조대한 toe HAZ조직은 부식환경에서 초기균열이 가장 빠르게 발생, 전파하였음을 AE Hits거동으로 부터 확인할 수 있다.

그리고 모재 및 용착금속의 경우를 보면 하중-변위선도는 두 조직에 있어 거의 유사한 거동을 보이고 있으나 AE발생거동은 상당히 다른 경향을 보이고 있다. 즉 용착금속은 모재조직의 경우보다 이른 소성균형영역에서 상당수의 AE가 발생하여 초기균열발생이 모재조직보다 빠르게 발생, 전파하였음을 알 수 있다. 이같은 결과는 부식환경에서 미세조직에 의한 결과로서 생각되는데, 즉 용착금속의 조직은 층상 퍼얼라이트 조직으로 구성된 모재조직에 대해 선상결합이 많은 미세립 퍼얼라이트(acicular ferrite)조직으로 구성되어 부식환경중에서 이같은 균열진전거동을 보이는 것으로 사려된다.

#### 4. 결론

- 1) SP-SCC시험에 의해 매우 짧은 시간내에 용접부 각 미세조직의 고유한 SCC평가가 가능하다.
- 2) AE Hits의 발생거동으로 부터 각 미세조직의 SCC거동을 보다 정확하게 평가할 수 있다.
- 3) toe HAZ조직은 타 조직에 비해 가장 높은 SCC감수성을 보였으며, SCC의 발생 및 진전거동도 상당히 빠르게 전파되었음을 AE activity거동으로 부터 알 수 있다.

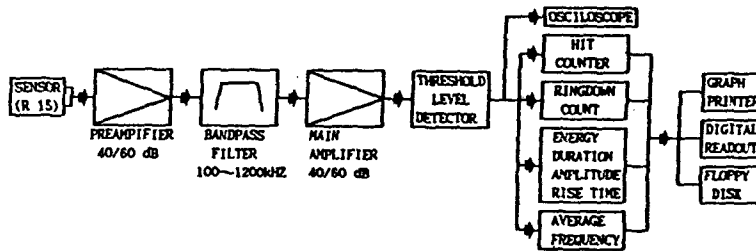


Fig.1 Block diagram of the AE signals process.

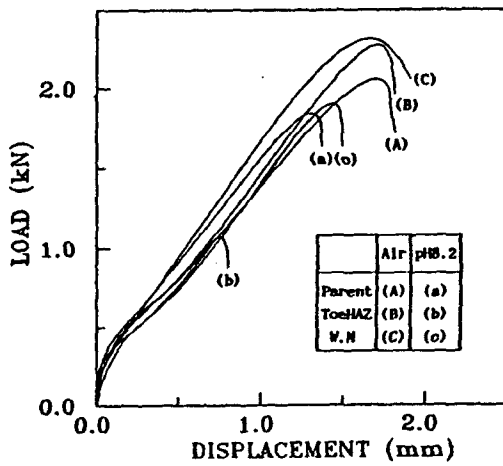


Fig.2 Behavior of load versus displacement on various microstructures in Air and SSW condition.

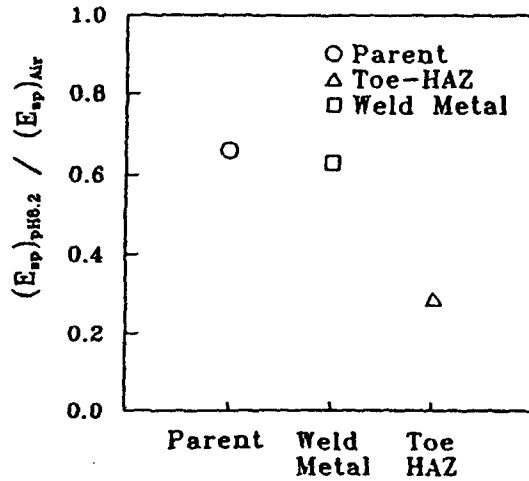
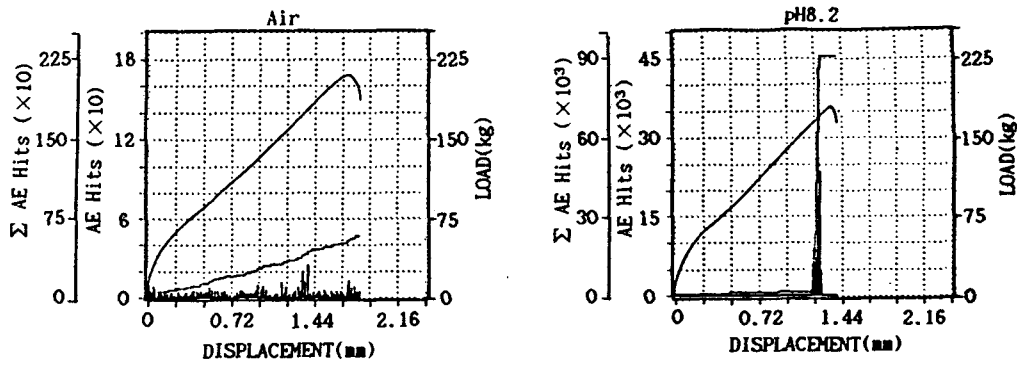
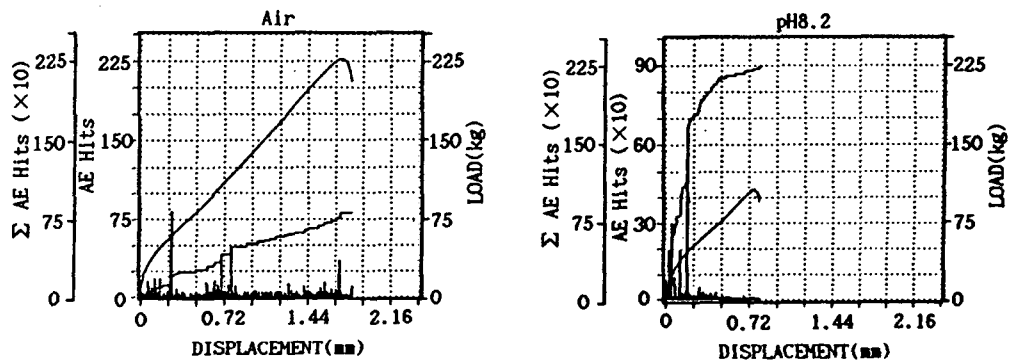


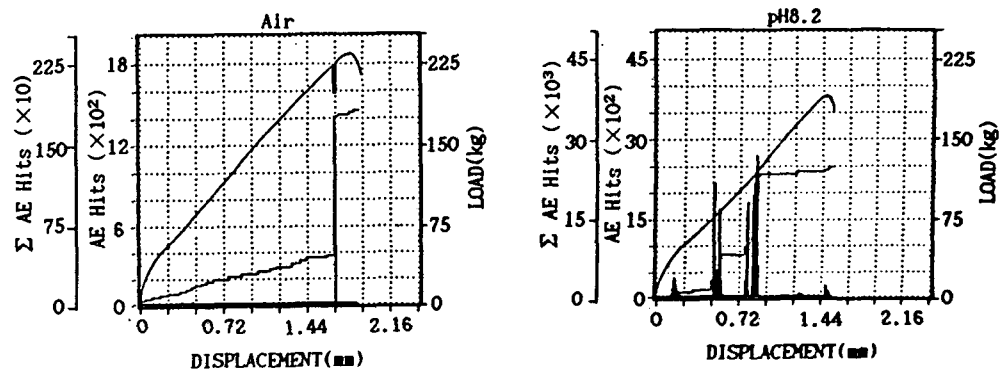
Fig.3 SCC susceptibility,  $[(E_{sp})_{PH8.2} / (E_{sp})_{Air}]$  of various microstructures.



(A) Parent



(B) toe HAZ



(C) Weld Metal

Fig.4 Behavior of AE Hits plotted along with the load versus displacement in Air and SSW condition.