

부식제어하에서 HT-60강 용접부의 SCC 및 AE 신호 특성에 관한 연구

나 의 균(군산대학교 기계공학부)
고 승 기(군산대학교 기계공학부)

Eui-Gyun Na(School of mechanical dept. Kunsan National Univ.)
Seung-Kee Koh(School of mechanical dept. Kunsan National Univ.)

Study on characteristics of SCC and AE signals for the weld HAZ of HT-60 steel under corrosion control

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the characteristics of stress corrosion cracking(SCC) and acoustic emission(AE) signals for the weld HAZ of HT-60 steel under corrosion control in synthetic seawater. Corrosive environment was controlled by potentiostat, and SCC experiment was conducted using a slow strain rate test method at strain rate of 10^{-5} /sec. In order to verify the microscopic fracture behaviour of the weldment during SCC phenomena, AE test was done simultaneously. Besides, relationship between mechanical parameters and AE ones was investigated. In case of the parent, reduction of area(ROA) at -0.5V was smaller than any other applied voltage such as -0.8V and -1.1V. In addition, reduction of area for the PWHT specimens at -0.8mV was larger than that of the weldment due to the softening effect according to PWHT. In case of the weldment, a lots of events was produced because of the singularities of the weld HAZ compared with the parent.

1. 서 론

최근, 공업의 고도화와 더불어 각종 금속구조물들의 사용환경이 다양화, 가혹화됨에 따라 구조물의 환경강도가 대단히 중요한 문제로 대두되고 있다.

실제 금속구조물에는 항상 응력이 작용하고 있으므로 응력부식균열(stress corrosion cracking: SCC)에 의해 파손이 발생하는 경우가 많으며, 습,부식환경하에서 사용된 금속재료는 응력부식균열과 관련된 사고가 전체의 약 60%를 차지하고 있다¹⁾. 또한 용접에 의해 구성된 해양구조물의 응력부식균열은 용접부가 부식환경에 대해 민감도가 아주 높기 때문에 대부분이 용접부에서 비롯되고 있

다. 따라서 가혹한 환경에서 용접구조물의 안전성을 확보하기 위해서는 용접부를 대상으로 SCC에 관한 연구가 절실히 요구되는 실정이다. 이와 더불어 부식환경하에서 사용중에 있는 기기 및 구조물들의 부식현상을 적극적으로 제어하여 수명을 연장시키는 방법을 찾아내는 것은 파괴제어설계의 관점에서 볼 때²⁾, 경제적인 측면에서 뿐만 아니라, 구조물의 건전성을 보증하는 면에 있어서도 대단히 필요하다. 또한, 응력부식에 의한 파괴를 미리 예측하기 위해서는 특정환경에서 SCC에 의해 손상되는 과정을 비 파괴적으로 감시(monitoring)할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 저 변형실험방법에 의해 인

공해수 중에서 HT-60강 용접재를 대상으로 부식제어하에서 SCC의 감수성을 평가하고 음향방출(acoustic emission: AE)법에 의해 SCC의 파괴과정을 미시적으로 검출함과 동시에 얻어진 결과와 SCC와의 상호관계를 고찰하고자 한다.

2. 실험

2-1. 공시재 및 용접

본 연구에 사용된 재료는 두께 18mm인 HT-60강이다. 표 1은 사용재의 화학적인 조성과 기계적인 성질을 보인 것이다.

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties

(a) Chemical compositions

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
0.16	0.55	1.35	0.03	0.04	0.6	0.4	0.3	0.15

(b) Mechanical properties

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
450	588	20

일층 및 이층용접은 압연방향에 직각으로 잠호(submerged)용접을 실시하였으며, 후 열처리는 780°C에서 1시간 풀림처리한 다음, 4시간동안 노내에서 서서히 냉각시켰다.

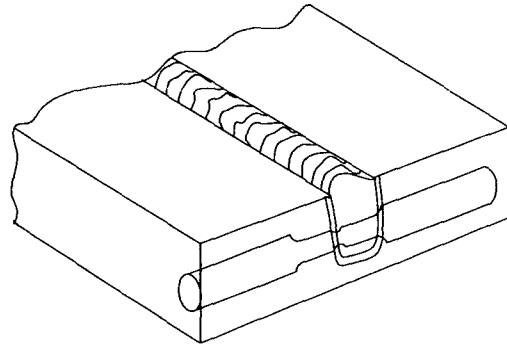
용접된 판에서 시험편의 채취와 규격은 그림 1과 같다.

2-2. 응력부식균열 및 AE 실험

응력부식균열실험은 자체적으로 제작한 저변형율실험장치를 이용하였으며, 가해진 변형율은 기존의 연구결과를 참조하여 10⁻⁵/sec를 택하였다³⁾. 부식용액은 인공해수를 제조하여 사용하였으며, 용접시험편의 대상부위인 용접열영향부(중앙부분)에 해당하는 부분까지만 채운 뒤 대기 개방상태에서 응력부식균열실험을 실시하였다. 실험도중 용액의 pH는 7.5로 일정하게 유지되도록 하였으며, 해수의 온도는 25±1°C내에 있도록

하였다.

부식제어는 전위계(EG&G 273-A)를 이용



(a). Extraction of specimen

(b). Dimension of specimen for SCC

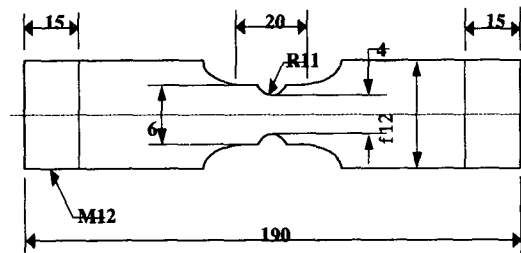


Fig.1 Extraction of specimen and dimension

하였으며, 기준전극(reference electrode)은 SCE를, 대극(counter electrode)은 흑연(graphite)을 사용하였다. 부식제어에 의해 시험편(작용전극: working electrode)에 가해진 전위값은 모재의 경우 -0.5V, -0.8V, -1.1V이고, 용접재의 경우에는 -0.8V로 하였다. 이상의 응력부식균열실험과 동시에 AE 실험을 실시하였다. 그림 2는 AE 장치의 개략도를 보인 것이다. 예 진폭기(pre-amplifier)의 gain은 40dB이고 문지방(threshold)값은 40dB로 하였으며 sample rate는 4MHz로 하였다. 또한, filter의 범위는 10kHz~1200kHz의 범위로 하였으며 Hit length는 1K로 하였다. 이어 300 kHz의 piezo-electric 감지기(2dB의 감도를 갖고 있음)를 시험편의 구조상 직접 장착할 수 없기

때문에 시험편을 고정하는 chuck부분에 설치하였다.

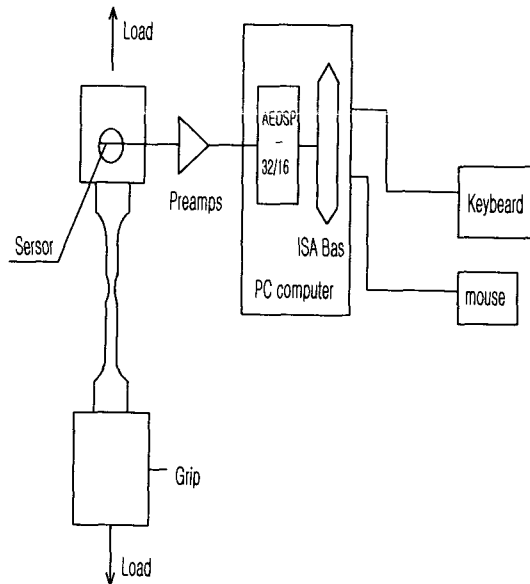


Fig.2 Block diagram for the measurement of AE signals

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 모재의 SCC특성 및 AE 거동

그림 3은 가해진 변형율이 $10^5/\text{sec}$ 에서 모재를 대상으로 전위값과 단면수축율과의 관계를 보인 것이다. 양극분극 범위인 -0.5V 에서 단면수축율은 62%이고, -0.8V 에서는 21.6%이며, -1.1V 에서는 14.4%이었다. -0.5V 에서 62%로서 현저하게 높은 값을 보이는 것은 용해기구(dissolution mechanism)와 더불어 인장파단하기 때문이며, 아울러 가해진 전위값이 보다 음극분극방향으로 향할수록 단면수축율은 각각 감소하였다. 특히 방식전위가 -1.1V 에서 14.4%를 보인 것은 방식전위가 가해질 때 환원반응에 의해 용액내에서 수소가스가 발생에 원인이 있는 것으로 생각된다. 다시말해, 환원반응에 의해 발생하는

수소가스는 저 변형실험이 실시되는 과정에서 시험편의 표면에 흡수될 것이며, 수소가스의 흡수되는 정도는 변형속도에 의존성이 있다는 것을 기존의 연구결과에서 밝힌 바 있다³⁾. 수소가스의 발생여부는 저 변형실험 도중 시험편의 표면에 기포(bubble)의 존재로 확인 할 수 있었으며, 기포의 양은 가해진 전위값에 따라 달랐으나 -1.1V 에서 가장 많이 발생되고 있음을 육안으로도 확인 할 수 있었다.

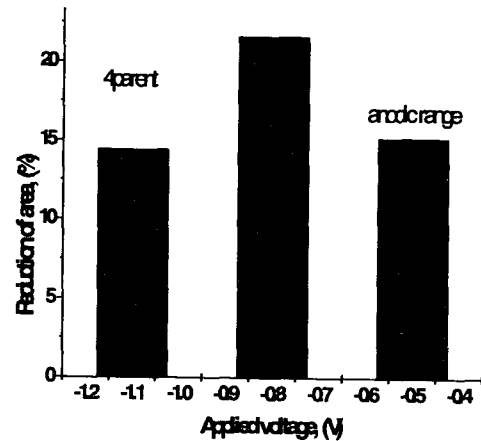


Fig. 3 Relationship between ROA and applied voltage for the parent

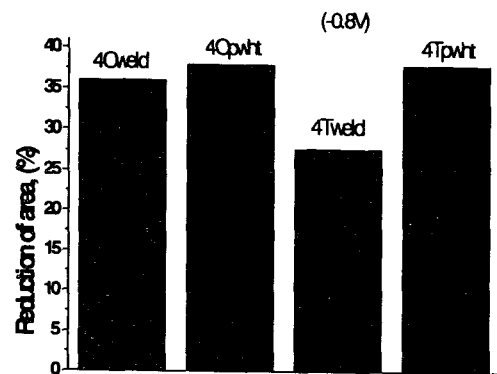
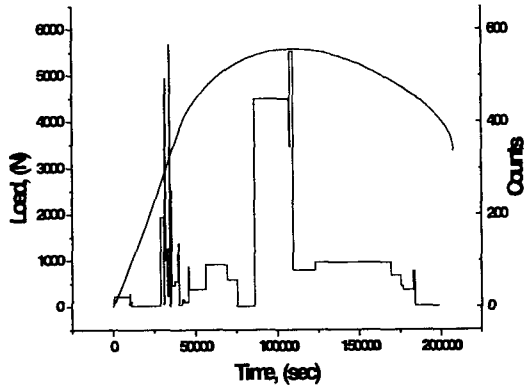


Fig. 4 Relationship between ROA and applied voltage for the as-welds and PWHT specimens

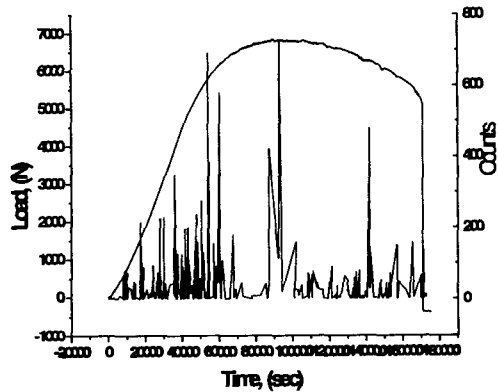
그림 4는 시험편에 가해진 전위값이 -0.8V 인 용접재의 단면수축율을 보인 것이다. 일

층용접과 이층용접을 막론하고 후 열처리의 경우가 단면수축율이 다소 증가하고 있음을 볼 수 있는데, 이는 후 열처리에 의해 용접부의 조직이 연화(softening)되었기 때문으로 생각된다.

그림 5는 가해진 전위값이 $-0.8V$ 인 모재와 일층용접재의 음향방출거동을 하중-변위(시간)선도와 함께 보인 것이다.



(a). parent



(b). one-pass weldment

Fig.5 Relationship between load-time and AE counts of the one-pass weldment under $-0.8V$ at $10^{-5}/\text{sec}$, including the parent

그림에서 볼 수 있는 것처럼, 용접재의 경

우가 모재에 비해 AE counts가 현저하게 많이 발생하였다. 이와같은 결과를 보이는 것은 다음과 같은 사실(용접부의 특이성)에 근거하는 것으로 생각된다.

첫째, 용접부에 잔류응력의 존재로 설명될 수 있는데 즉, 용접부의 잔류응력은 취성적인 미시균열을 야기시킬 수 있고 균열의 deflection이 생기며, 균열의 경로는 zig-zag 형태이기 때문이다.

둘째, 용접부에는 미시결합이 존재할 가능성이 높기 때문에 틈부식(crevice corrosion)과 같은 국부적 부식에 의한 손상이 일어날 가능성이 대단히 높고, 이에 따라 공식(pit)이 생성되는 곳이 모재에 비해 많으며, 계속된 하중에 의해 균열들의 합체가 수 많은 곳에서 일어나기 때문에 보다 많은 AE counts가 발생하게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 HT-60강 용접부를 대상으로 부식제어하에서 응력부식균열과 AE실험을 동시에 실시하였다. 모재의 SCC거동은 가해진 전위값에 따라 현저히 달랐으며, 후 열처리를 실시함에 따라 SCC에 대한 저항성은 다소 증가하였다. 아울러 일정 전위값에서 용접재의 경우가 모재에 비해 AE counts가 보다 많이 발생하였는데, 이는 용접부의 특이성 예를들어, 조직의 불균일성, 부식환경에 대한 민감도가 높다는 점 등에 기인한다.

참 고 문 헌

- 1) 이재익, "plant설비의 손상경향에 대하여," 한국부식학회지, 제17권, 제3호, pp.172~181, 1988
- 2) 小林英男 : 破壊力學, pp.156-166
- 3) 안용택. "저 변형율실험법에 의한 HT-60강 용접부의 SCC감수성 평가에 관한 연구," 군산대학교, 석사학위논문, 1998

때문에 시험편을 고정하는 chuck부분에 설치하였다.

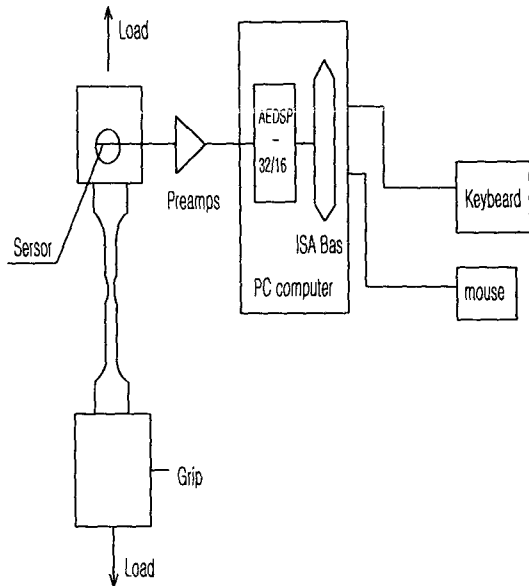


Fig.2 Block diagram for the measurement of AE signals

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 모재의 SCC특성 및 AE 거동

그림 3은 가해진 변형율이 $10^5/\text{sec}$ 에서 모재를 대상으로 전위값과 단면수축율과의 관계를 보인 것이다. 양극분극 범위인 -0.5V 에서 단면수축율은 62%이고, -0.8V 에서는 21.6%이며, -1.1V 에서는 14.4%이었다. -0.5V 에서 62%로서 현저하게 높은 값을 보이는 것은 용해기구(dissolution mechanism)와 더불어 인장파단하기 때문이며, 아울러 가해진 전위값이 보다 음극분극방향으로 향할수록 단면수축율은 각각 감소하였다. 특히 방식전위가 -1.1V 에서 14.4%를 보인 것은 방식전위가 가해질 때 환원반응에 의해 용액내에서 수소가스가 발생에 원인이 있는 것으로 생각된다. 다시말해, 환원반응에 의해 발생하는

수소가스는 저 변형실험이 실시되는 과정에서 시험편의 표면에 흡수될 것이며, 수소가스의 흡수되는 정도는 변형속도에 의존성이 있다는 것을 기존의 연구결과에서 밝힌 바 있다³⁾. 수소가스의 발생여부는 저 변형실험도중 시험편의 표면에 기포(bubble)의 존재로 확인 할 수 있었으며, 기포의 양은 가해진 전위값에 따라 달랐으나 -1.1V 에서 가장 많이 발생되고 있음을 육안으로도 확인 할 수 있었다.

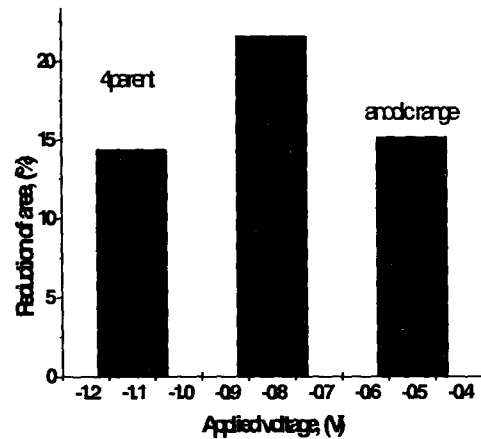


Fig. 3 Relationship between ROA and applied voltage for the parent

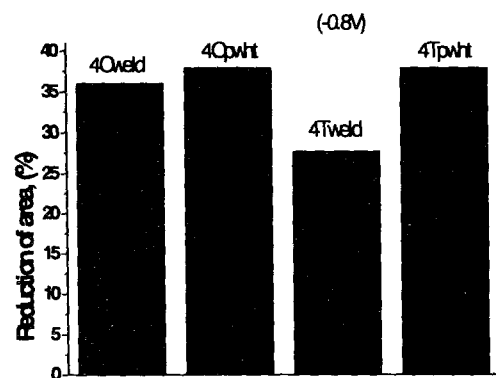
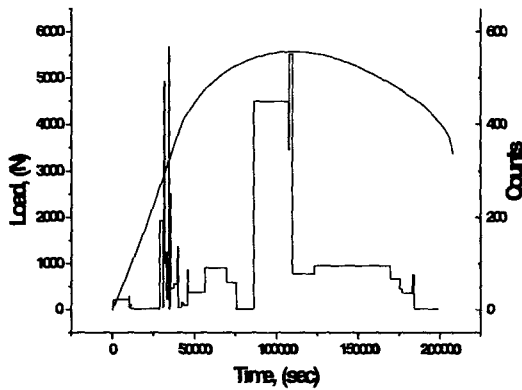


Fig. 4 Relationship between ROA and applied voltage for the as-welds and PWHT specimens

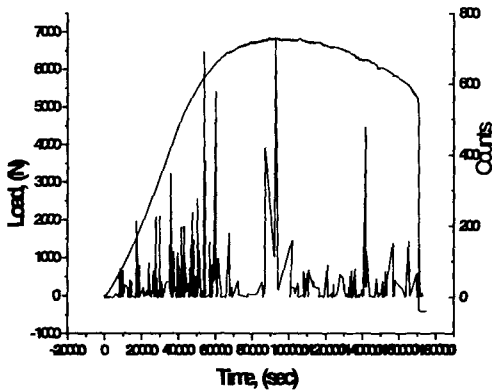
그림 4는 시험편에 가해진 전위값이 -0.8V 인 용접재의 단면수축율을 보인 것이다. 일

충용접과 이층용접을 막론하고 후 열처리재의 경우가 단면수축율이 다소 증가하고 있음을 볼 수 있는데, 이는 후 열처리에 의해 용접부의 조직이 연화(softening)되었기 때문으로 생각된다.

그림 5는 가해진 전위값이 $-0.8V$ 인 모재와 일층용접재의 음향방출거동을 하중-변위(시간)선도와 함께 보인 것이다.



(a). parent



(b). one-pass weldment

Fig.5 Relationship between load-time and AE counts of the one-pass weldment under $-0.8V$ at $10^{-5}/\text{sec}$, including the parent

그림에서 볼 수 있는 것처럼, 용접재의 경

우가 모재에 비해 AE counts가 현저하게 많이 발생하였다. 이와같은 결과를 보이는 것은 다음과 같은 사실(용접부의 특이성)에 근거하는 것으로 생각된다.

첫째, 용접부에 잔류응력의 존재로 설명될 수 있는데 즉, 용접부의 잔류응력은 취성적인 미시균열을 야기시킬 수 있고 균열의 deflection이 생기며, 균열의 경로는 zig-zag 형태이기 때문이다.

둘째, 용접부에는 미시결합이 존재할 가능성이 높기 때문에 틈부식(crevice corrosion)과 같은 국부적 부식에 의한 손상이 일어날 가능성이 대단히 높고, 이에 따라 공식(pit)이 생성되는 곳이 모재에 비해 많으며, 계속된 하중에 의해 균열들의 합체가 수 많은 곳에서 일어나기 때문에 보다 많은 AE counts가 발생하게 된다.

4. 결론

본 연구에서는 HT-60강 용접부를 대상으로 부식제어하에서 응력부식균열과 AE실험을 동시에 실시하였다. 모재의 SCC거동은 가해진 전위값에 따라 현저히 달랐으며, 후 열처리를 실시함에 따라 SCC에 대한 저항성은 다소 증가하였다. 아울러 일정 전위값에서 용접재의 경우가 모재에 비해 AE counts가 보다 많이 발생하였는데, 이는 용접부의 특이성 예를들어, 조직의 불균일성, 부식환경에 대한 민감도가 높다는 점 등에 기인한다.

참 고 문 헌

- 1) 이재익, "plant설비의 손상경향에 대하여," 한국부식학회지, 제17권, 제3호, pp.172~181, 1988
- 2) 小林英男 : 破壊力學, pp.156-166
- 3) 안용택, "저 변형율실험법에 의한 HT-60강 용접부의 SCC감수성 평가에 관한 연구," 군산대학교, 석사학위논문, 1998