

〈論 文〉

소형편치시험법에 의한 응력부식균열 감수성평가에 관한 연구

유효선 · 이송인 · 임재규 · 정세희

(1993년 2월 20일 접수)

Stress Corrosion Cracking Susceptibility Evaluation by Small Punch Test

Hyo Sun You, Song In Lee, Jae Kyo Lim and Se Hi Chung

Key Words : Stress Corrosion Cracking(응력부식균열), Slow Strain Rate Test(저변형률시험), Small-Punch Test(소형편치시험), Susceptibility Evaluation(감수성평가), Pitting(점부식), Plastic Membrane Stretching Regime(소성막신장영역) Transgranular Fracture(입내파괴), Synthetic Sea Water(인공해수)

Abstract

In conventional SCC susceptibility test, there are constant strain test, constant load test, slow strain rate test(SSRT) and K_{ISCC} test. Among them, the SSRT method is much more aggressive in producing SCC than the other tests, so that the test time of it is considerably reduced. But this SSRT method has mostly been worked using the uniaxial tensile specimen until now. Therefore, the SSRT method using the tensile specimen(Ten-SSRT) has much difficulty in SCC susceptibility evaluation of a localized region like weldment and the advantage material of high order. Recently, the small punch(SP) test method using miniaturized small specimen is the very effective test method for fracture strength evaluation of a localized region like weldment and fusion reactor wall irradiated in the nuclear power plant. This paper investigated the possibility of SCC susceptibility evaluation by the SP-SSRT method using the miniaturized small specimen. Therefore, we obtained the result that the SP-SSRT had the possibility for the evaluations of SCC susceptibility for shorter time to corrosive environment compare to Ten-SSRT which was conventional method.

1. 서 론

종래의 응력부식균열(stress corrosion cracking :

- *정회원, 전북대학교 기계공학과 대학원
- **정회원, 전북대학교 정밀기계공학과 대학원
- ***정회원, 전북대학교 기계설계학과
- ****정회원, 전북대학교 정밀기계공학과

SCC) 감수성 평가방법으로는 실환경에서 시험이 용이한 정변형시험(constant strain test : U-bend test) 법과 응력을 영향을 알아보고자 하는 정부하시험(constant load test) 법 그리고 부식균열의 진전속도 및 역학적 조건을 규명하고자 하는 파괴역학적 시험(K_{ISCC} test) 법 등이 이용되어져 왔다.^(1~3) 그러나 이들 시험법으로 어떤 환경하에서 SCC에 대한

감수성을 평가하기에는 상당한 시간이 요구되며, 긴 시험시간으로 결과의 재현성도 낮고, 다수의 시험편이 필요하다는 공통적인 문제점을 갖고 있다.

이에 대해 최근에 개발된 저동적시험(slow dynamic test) 방법인 저변형률시험(slow strain rate test : SS-RT) 법은 종래의 시험방법에 비해 비교적 단시간에 재료의 SCC감수성 평가가 가능하고, 그 결과의 재현성도 높다는 장점 때문에 이 방법을 통한 연구가 많이 보고 되어지고 있다.^(4,5)

그러나 종래 인장시험편을 이용한 인장-저변형률 시험(이하 Ten-SSRT)은 시험편의 크기로 인하여 금속재료의 압연과정에 의해 발생하는 방향성^(6,7)에 대한 SCC평가는 매우 어렵다. 또한 부식환경에 처해 있는 대형구조물에서 가장 SCC에 민감한 용접부의 용융선부위에 인접한 용접열영향부(heat affected zone : HAZ)의 SCC평가는 거의 불가능하다. 그리고 세라믹(ceramic)과 같은 고가인 재료에서 다량의 시험편을 채취한다는 것은 경제적인 어려움이 많다. 따라서 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 미소시험편에 의한 SSRT법의 개량이 요구되고 있다.

종래의 Ten-SSRT방법에서의 응력부식균열 감수성의 평가인자로서는 일반적으로 최대하중(P_{max}), 최대응력(σ_{max}), 변위(δ), 진과단응력(σ_{th}), 단면수축율(reduction of area : ROA), 파단시간(time to failure : TTF) 등을 들 수 있다.^(8,9) 특히 해양 부식환경하의 고장력강 경우에 있어서 SCC감수성 평가인자로서는 위의 인자들 중 측정이 용이한 P_{max} , σ_{max} , δ 등의 사용은 불가능하고, 진과단응력(σ_{th})과 단면수축율(ROA)이 유효하다고 보고되고 있다.⁽¹⁰⁾ 그러나 실제로 σ_{th} 을 부식환경 내에서 정확히 측정하기에는 어려움이 따르며, ROA의 측정에 있어서도 최종 파단부의 형상이 굴곡되어 측정의 어려움이 많고, 측정자에 따라 측정값의 차이가

크다. 그러므로 이러한 경우에 있어서도 실험결과 의 재현성을 높이기 위해, 측정이 용이한 평가인자를 얻을 수 있는 새로운 SCC평가방법의 개발이 요구된다.

따라서, 본 연구는 최근 핵 융합로 내의 조사손상에 따른 국부부위의 파괴강도평가를 위해 새로이 개발된, 소형펀치(small punch : 이하 SP) 시험⁽¹¹⁾에 사용되고 있는 미소시험편을 이용하여 재료의 SCC 감수성 평가의 가능성을 조사하고, SP시험편을 이용한 SSRT(이하 SP-SSRT)법에 의한 SCC거동을 고찰하고자 한다.

2. 시험편과 실험방법

2.1 시험편

본 실험에 사용된 재료는 해양구조물의 재료로 주로 사용되는 고장력강재인 HT80강으로서 그 화학조성 및 기계적성질은 Table 1과 같다. SP시험편의 채취는 압연방향이 시험편의 두께방향이 되도록 하였다. 그리고 시험편의 가공은 먼저 압연(rolling)방향으로 10×10 mm의 단면을 갖는 각봉으로 기계가공을 한 후, 0.3 mm의 절단원판(cut-off wheel)을 사용하여 시험편의 두께가 0.8~0.9 mm가 되도록 절단하였다. 절단된 시험편을 #300~1500번의 사포(emery paper)를 사용하여 시험편의 표면에 가공경화가 일어나지 않도록 물을 주입하면서 사상가공을 한 후, 최종적으로 SP시험편의 규격인 10 mm×10 mm×0.5 mm의 크기로 제작하였다. 이때 두께의 허용오차는 0.5±0.05 mm로 하였다.

2.2 실험방법

Fig. 1은 본 실험을 위해 사용된 SP-SSRT의 시험장치 및 지그와 시험편의 크기를 나타낸 그림이

Table 1 Chemical composition and 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 (MPa)		Tensile strength (MPa)		Elongation (%)				
	794		834		30.0				

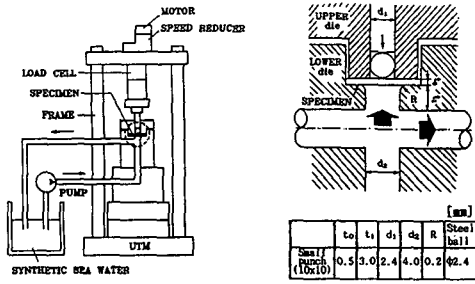


Fig. 1 Loading jig for SP-SSRT and specimen size

다. SP시험지그는 상부다이(upper die)와 하부다이(lower die), 편치(punch) 그리고 4개의 체결볼트로 이루어져 있으며 하중부하시에는 시험편의 컵(cup)형 변형을 완전히 억제시켜 재료의 소성변형이 부하용 강구(steel ball)의 직하로 집중될 수 있도록 되어 있다. 이때 상부다이에 의해 고정되어지는 시험편에 균일한 체결력이 가해지도록 4개의 볼트는 토크렌치를 사용하여 50 kg·mm로 일정하게 체결하였다.

SP시험은 SSRT시험기(용량 2 ton)를 사용하여 편치선단에 HRC 62~67의 경도를 갖는 $\phi 2.4$ mm의 강구를 놓고, 이를 통하여 시험편의 상부에 여러 부하속도로 하중을 가하는 방식으로 행하였다. 실험에 채택된 부하속도는 3×10^{-3} mm/min, 1.2×10^{-3} mm/min, 5×10^{-4} mm/min, 3×10^{-4} mm/min로 하였다. 시험중의 하중값은 로드셀(load cell)에서 나오는 미세전압치를 증폭기(amplifier)에 의해 증폭시킨 후 측정하였으며, 변위값은 부하속도로 부터 계산되어졌다.

부식환경은 Table 2와 같이 ASTM-D114⁽¹²⁾에 따라 제조된 pH 8.2의 인공해수(synthetic-sea water)로 하였으며, 이때 인공해수는 대기 개방상태에서 순환속도 50 ml/min으로 일정 유속으로 순환시키면서 자연부식-전위(E_{corr})에서 실험을 행하였다. 또한 해수중의 불순물을 제거하기 위해 필터(filter)를 사용하였으며, 시험도중 pH값의 변동을 최소화하기 위해 12시간마다 pH값을 측정하여 그의 변화량을 보정하였다. 인공해수의 온도는 $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였고 그 공급과 배출방향은 Fig. 1의 화살표 방향과 같다.

또한 본 연구에서 SP시험에 의한 SCC거동을 구분, 고찰하기 위하여 Fig. 2에 SP시험으로부터 얻어지는 4단계 파괴거동인 탄성굽힘영역(I 영역),

Table 2 The composition 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

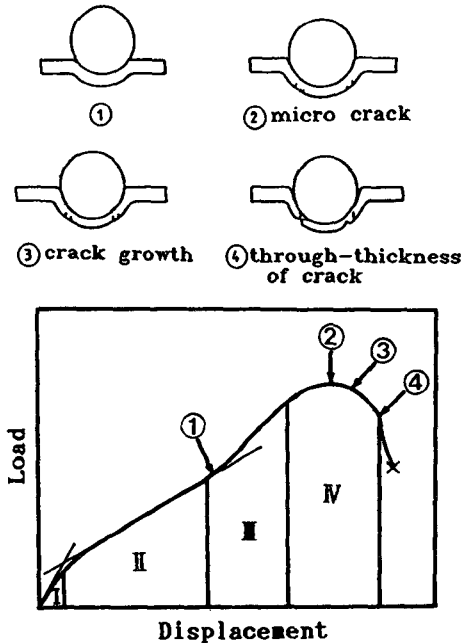


Fig. 2 Schematic illustration of deformation characteristics and fracture processes in SP test specimen (air condition)

소성굽힘영역(II 영역), 소성막신장영역(III), 소성불안정영역(IV)을 구분하여 나타내었다.⁽¹¹⁾

이때 탄성굽힘영역은 대기상태에서 최대변위(δ_{max})의 3%로 하였으며, SP-SSRT의 중요한 파

괴기구조로 생각되는 소성굽힘영역과 소성막신장영역은 최대변위의 40%로 구분하였다. 그리고 소성막신장영역과 소성불안전영역은 최대변위의 80%로 구분하였다. 또한 대기와 해수중에서 파단된 시험편들은 미소시험편의 거시적, 미시적 파면특성과 SCC의 파괴기구를 규명하기 위해 전자현미경(scanning electron microscope : SEM)을 사용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 부하속도 의존성

부식환경하에서 인장시험편을 이용한 저변형률시험법의 경우 SCC감수성은 변형률 속도에 크게 의존하는 것으로 알려져 있으므로,^(13,14) 먼저 미소 SP시험편에 대한 부하속도의 영향을 알아보았다. Fig. 3은 부하속도 3×10^{-3} mm/min, 1.2×10^{-3} mm/min, 5×10^{-4} mm/min, 3×10^{-4} mm/min에서 얻은 대기상태 및 pH 8.2인 인공해수중에서의 하중-변위곡선들이다. 곡선 ①, ②는 부하속도 3×10^{-3} mm/min의 경우로써 인공해수 분위기인 곡선 ②에서의 최대하중(P_{max})과 변위(δ)는 각각 1.8 kN 및 1.79 mm로 대기상태인 곡선 ①의 2 kN 및 2.0 mm에 비해 약 10%의 저하를 보였으나, P_{max} 이후에는 두 곡선 모두 뚜렷한 연성거동을 보이고 있음을 알 수 있다.

이같은 P_{max} 이후의 경향은 부하속도 1.2×10^{-3}

mm/min의 경우에서도 나타났으나 그림에서 보는 바와 같이 3×10^{-3} mm/min의 경우에 비해 P_{max} 와 δ 는 뚜렷히 저하하고 있어 시험재료에 대한 부식환경의 감수성은 부하속도가 저하 함에 따라 점점 증가하고 있음을 알 수 있다. 곡선 ④는 부하속도 5×10^{-4} mm/min의 경우로써 P_{max} 이후 매우 적은양의 연성적인 거동을 보이고, 곧 바로 파괴에 이르는 연-취성적파괴거동을 보이고 있어 SCC가 일어나고 있음을 예측할 수 있다. 곡선 ⑤, ⑥, ⑦은 부하속도 3×10^{-4} mm/min의 경우로써 P_{max} 이후의 경향은 5×10^{-4} mm/min의 경우와 같은 연-취성적 파괴거동을 보이고 있으며, 다른 부하속도에 비해 P_{max} 와 δ 값은 가장 낮은 값을 보이고 있어 가장 민감한 부식환경의 SCC감수성을 나타내고 있다. 그리고 하중-변위선도의 재현성 문제에 있어 약간의 차이는 있으나 거의 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 4, 5, 6은 각 부하속도에서 얻은 최대하중(P_{max})과 변위(δ) 그리고 SP-에너지(E_{SP})의 변화를 부하속도에 대해 정리한 그림이다. 여기에서 E_{SP} 는 하중-변위선도에서 최대하중(P_{max})점까지의 아래면적으로 계산하였다. 그림에서 보는 바와 같이 재료에 가해지는 부하속도가 저하할수록 P_{max} 와 δ 그리고 E_{SP} 값이 모두 대기상태에 비해 인공해수 중에서는 점차 저하하는 유사한 경향을 보이고 있다. 그리고 대기상태와 부식환경에서의 시험결과와의 차이는 P_{max} , δ , E_{SP} 의 순서로 그 정도가 커짐을 확

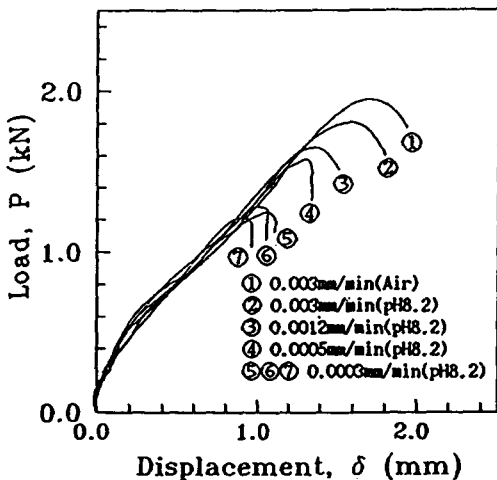


Fig. 3 Effect of various loading rates on the behavior of load versus displacement

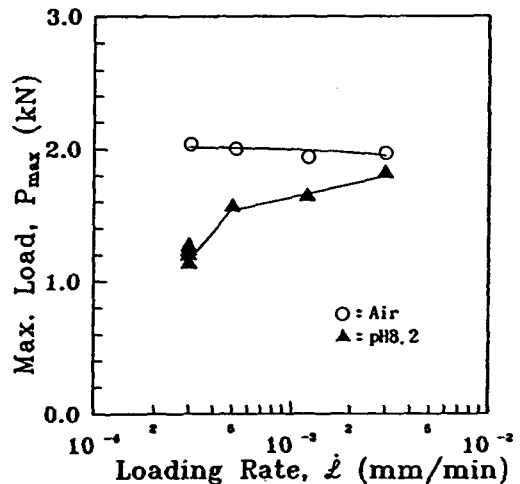


Fig. 4 Relationship between various loading rates and max. load(P_{max})

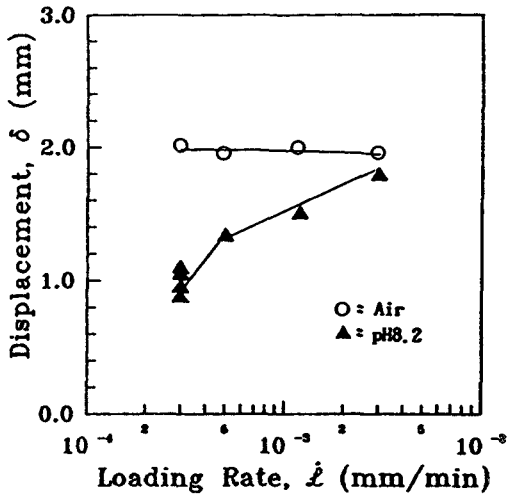


Fig. 5 Relationship between various loading rates and displacement(δ)

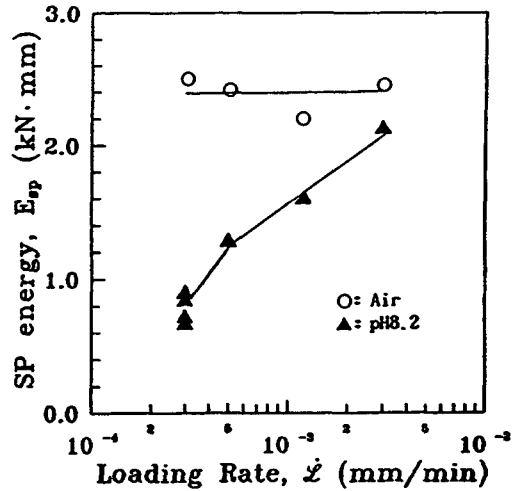


Fig. 6 Relationship between various loading rates and SP energy

인할 수 있다.

이들 측정치중 E_{SP} 의 경우를 보면 부하속도의 저하에 따라 상당한 양의 E_{SP} 의 감소를 관찰할 수 있다. 특히 부하속도 3×10^{-4} mm/min 경우 대기 상태에서의 E_{SP} 는 $2.5 \text{ kN}\cdot\text{mm}$ 인데 반해, 해수중에서의 E_{SP} 는 약 $0.9 \text{ kN}\cdot\text{mm}$ 을 보여 뚜렷한 SP에너지의 부하속도 의존성을 알 수 있다. 그리고 5×10^{-4} mm/min의 부하속도보다 빠른 속도영역에서는 E_{SP} 의 증가율이 약간 둔화되는 경향도 관찰할

수 있으며, 이는 Fig. 5, 6에서도 확인할 수 있다. 따라서 해수중에서 SP시험편을 이용한 저변형율시험법의 경우, SCC감수성은 Ten-SSRT의 경우와 마찬가지로 부하속도에 크게 의존함을 관찰할 수 있다.

3.2 SP-SSRT의 SCC거동

앞절의 관찰에서 부식환경에 대한 부하속도의 영향이 뚜렷하여, SP시험편으로도 SCC시험이 가능

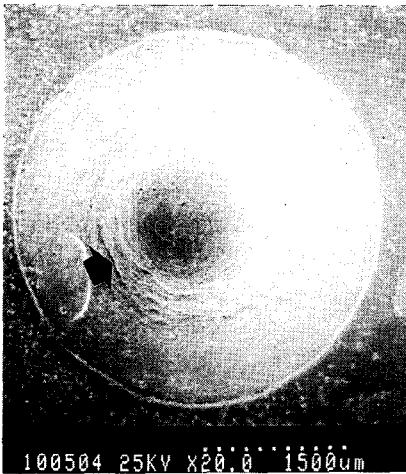
Table 3 Ten-SSRT and SP-SSRT results of HT80 steel(TL orientation)

	Environment	Potential (V)	Loading rate (mm/min)	Max. load $P_{max.}$ (kN)	Displacement δ (mm)	ROA (%)	Energy (kJ·mm)	TTF (min)
* Ten-SSRT	Air	—	6×10^{-4}	23.0 23.2	5.1 5.1	72.4 77.4	—	9510 9660
	Synthetic sea water (pH 8.2)	E_{corr}	6×10^{-4}	23.0 22.8	4.4 5.1	68.8 72.4	—	8750 9660
SP-SSRT	Air	—	3×10^{-4}	2.0 2.1	2 1.8	—	2.5 2.4	6667 6000
	Synthetic sea water (pH 8.2)	E_{corr}	3×10^{-4}	1.2	1.1	—	0.9	3680
				1.3	1.1		0.9	3533
				1.2	0.9		0.7	3207
				1.1	0.9		2963	

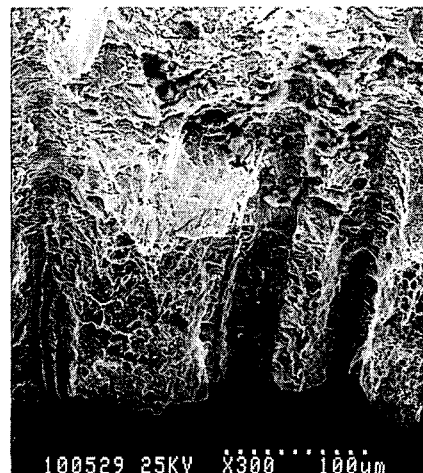
* ref. 15

하다는 사실을 알았으므로, 이절에서는 SP-SSRT의 SCC거동을 보다 상세하게 살펴보기로 한다. 인공해수중에서 부하속도 3×10^{-4} mm/min의 경우, Fig. 4, 5에서 P_{max} 와 δ 는 각각 1.2 kN 및 1.1 mm로써 대기상태의 2.1 kN, 1.8 mm와 비교할 때 P_{max} 는 42%의 저하, 그리고 δ 는 약 43%의 저하를 보여, 매우 뚜렷한 SCC거동을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이같은 SP-SSRT법에 의해 얻은 시험결과를 동일재료(HT80강), 동일부식환경(pH 8.2-인공해수, E_{corr})하에서 Ten-SSRT법에 의해 보고⁽¹⁵⁾된 SCC시험결과와 비교하여 보면 그 결과는 Table 3과 같다.

먼저 대기와 해수중에서 인장시험편을 이용한 Ten-SSRT법의 인장특성치인 최대하중(P_{max}), 변위(δ), 단면수축율(ROA), 파단시간(TTF)을 비교해 볼 때, 그 차이는 극히 적어, Ten-SSRT법에서는 SCC현상이 거의 일어나지 않았음을 알 수 있다. 그러나 SP-SSRT시험결과에서는 Table 3에 나타난 바와 같이 P_{max} , δ , E_{SP} , TTF값의 차이가 매우 크게 나타나고 있어 해수환경하에서의 재료에 대한 뚜렷한 SCC거동을 보이고 있다. 이와같이 두 시험 모두 SCC 발생의 변형률속도에서 Ten-SSRT방법과 SP-SSRT방법의 SCC감수성의 차이를 보이는 것은, 두 시험법의 전혀 다른 변형거동에 기



a) Air



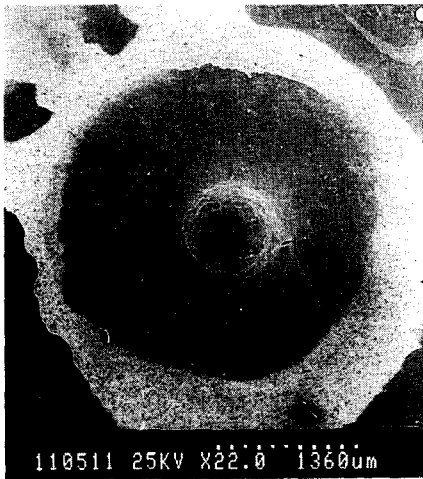
b) pH8.2

Fig. 7 SEM macro-and micro-graphs of fracture surface (loading rate : 3×10^{-4} mm/min)

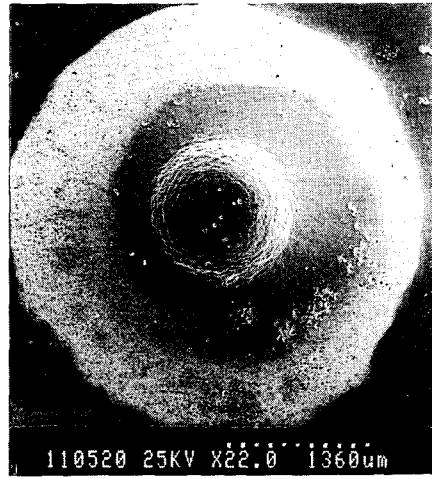
인한 단위시간당 신생면의 노출면적이 서로 다르기 때문이라 생각된다. 즉 HT80강의 고강도재료에 대한 Ten-SSRT의 변형거동에서는 시험편의 표점 거리(gauge length)부에서 기계적인 파괴인 소성변형도가 작아 slip step의 형성이 원활이 이루어지지 않기 때문에 단위시간당 신생면의 노출면적이 크지 않을 것으로 생각된다. 따라서 시험편 표면에서 SCC의 중요한 파괴기구중의 하나인 양극용해(anodic dissolution)현상이 활발히 일어나지 않게 되고, 결과적으로 SCC감수성은 매우 둔하게 보인다 고 생각된다. 이에 반해 SP-SSRT법에서는 시

험편의 두께가 0.5mm로 얇고 재료의 소성변형 부하용 강구(steel ball)의 직하로 집중되기 때문에 일어나는 소성막신장영역(plastic membrane stretching regime)의 존재로 인하여 재료의 소성변형도가 인장시험의 경우보다 상당히 크다고 생각된다. 따라서 부식환경에서 단위시간당 신생면의 노출면적이 커, 시험편 표면에서의 양극용해(anodic dissolution)현상이 활발히 일어날 것으로 생각되며, 이로 인하여 SCC감수성이 매우 높게 나타난다고 생각된다.

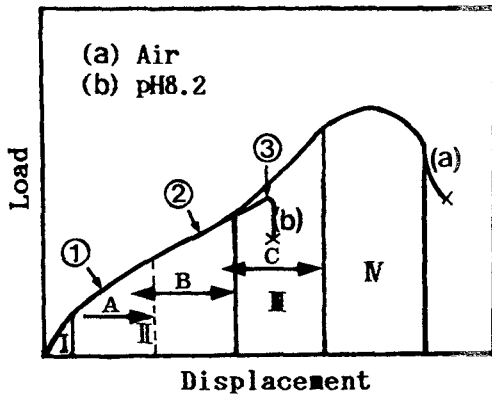
따라서 SP-SSRT법은 Ten-SSRT법보다 부식환



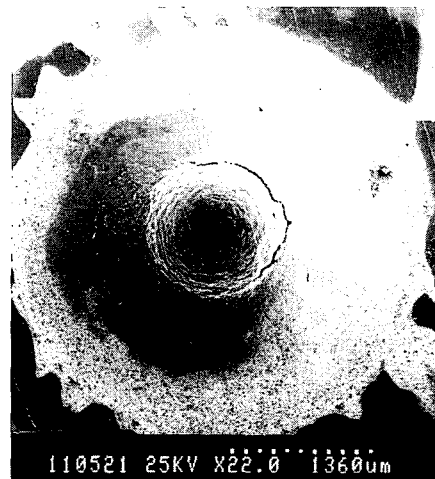
point ①



point ②



- (a) Pitting zone
- (b) Micro crack initiation
- (c) Crack growth+Through thickness of crack



point ③

Fig. 8 Schematic illustration of deformation characteristics and macro-fracture processes in SP-SSRT specimen

경에서 재료를 더욱 가혹한 상태로 만들기 때문에 Ten-SSRT법에서 SCC현상이 둔하게 나타난 재료도, SP-SSRT법에 의한 SCC평가시에는 SCC가 일어날 확률이 크게 될 것으로 생각된다. 그러므로 SP-SSRT법은 종래의 Ten-SSRT법보다 재료에 대한 SCC민감도를 더욱 명확하게 평가할 수 있는 시험법으로서 그 유효성이 있음을 알 수 있다.

또한 일반적으로 고장력강의 SCC감수성을 평가할 때 흔히 쓰이는 인자인 TTF를 볼때 Ten-SSRT의 경우는 약 150 hr~170 hr의 시간이 소요되는 반면, 본 연구에서 사용한 SP-SSRT법에서는 약 58

hr가 소요되어 매우 짧은 시간 내에 SCC감수성을 평가할 수 있음을 알 수 있다.

이같은 SP-SSRT법에 의한 SCC거동을 관찰하기 위해 파단된 시험편들을 대상으로 SEM관찰을 행하였다. Fig. 7은 SP-SSRT시험에서 가장 민감한 SCC감수성을 보인 부하속도 3×10^{-4} mm/min 경우에 대기와 해수중에서 시험한 시험편을 SEM에 의해 관찰한 거시적, 미시적 파면형태이다. 이때 미시파면부위는 거시적 파면사진의 화살표부위에서 관찰한 사진이다.

먼저 사진(a)의 대기중에서 시험한 시험편의 거

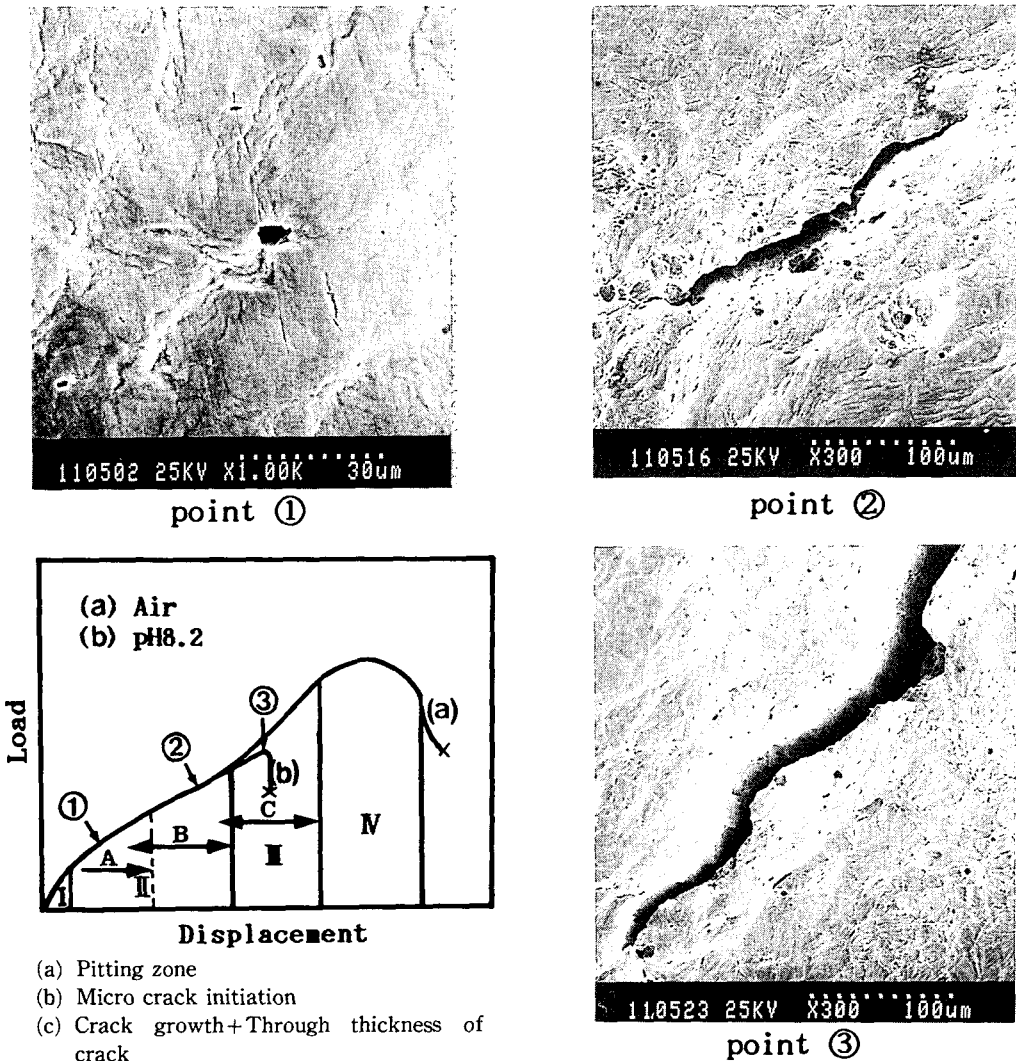


Fig. 9 Schematic illustration of deformation characteristics and micro-fracture processes in SP-SSRT specimen

시적인 파면형태에서는 반구 정점으로부터 멀리 떨어진 부위에서 원주방향으로 생성된 균열을 관찰할 수 있다. 또한 미시파면에서는 전형적인 딩플(dimple)파면이 관찰되어 연성적으로 파괴하였음을 알 수 있다. 반면 사진(b)의 pH 8.2의 해수중에서의 시험편은 대기중에서의 것과 비교할 때, 거시적으로는 반구 정점으로부터 약간 떨어진 여러 부위에서 국부적인 점부식(pitting)을 관찰할 수 있고, 또 SCC의 특징인 복수균열(multi-crack)이 뚜렷히 원주방향으로 발생, 전파되었음을 관찰할 수 있다.

또한 미시적($\times 300$)인 파면형태를 살펴 보았을 때, 사진의 상단부는 시험편의 표면부로서 부식생성물과 더불어 응력부식균열이 발생된 것으로 믿어지는 부위에서 약간의 입내파괴(transgranular fracture)균열을 관찰할 수 있다. 그리고 이러한 응력부식균열은 시험편의 두께방향으로 매우 뚜렷한 입내파괴 거동을 보이면서 전파되었음을 사진의 하단부에서 관찰할 수 있다. 따라서 이들 SEM 관찰 결과로부터도 부식환경하에서 SP시험법에 의한 SCC의 평가 가능성을 명확히 확인할 수 있다.

이상의 SP-SSRT의 파괴거동을 좀더 자세히 관찰하기 위해 미소시험편의 거시적, 미시적인 표면을, Fig. 8, 9와 같이, 하중-변위선도상의 ①, ②, ③지점에서 제하(unloading)시킨 후 SEM으로 관찰하였다. 그 결과 다음과 같은 사실을 밝힐 수 있었다.

먼저 ①지점의 거시적, 미시적 표면관찰로부터 제1단계의 탄성굽힘영역과 제2단계의 소성굽힘영역 전반부는 응력부식균열 발생의 잠복기로서 국부적인 점부식(pitting)의 발생영역임을 확인할 수 있었다. 또한 ②지점인 제2단계의 소성굽힘영역의 후반부에서는 미시균열(micro crack)의 발생영역임을, ③지점인 제3단계의 소성막신장영역에서는 소성굽힘영역의 후반부에서 발생된 미시균열이 성장 전파하는 영역임을 확인할 수 있었다. 따라서 SP 시험의 파괴거동중 제4단계인 P_{max} 점에서 미시균열이 발생하여, P_{max} 점 이후의 하중강하와 함께 균열 성장이 이루어지는 대기상태에 반해, 부식환경에서는 응력부식현상에 의해 그 보다 빠른 제2단계의 소성굽힘영역의 후반부에서 미시균열이 발생하고 제3단계의 소성막신장영역에서 균열이 성장하여 최종적으로 파괴되는 빠른 파괴거동을 관찰할 수 있다.

따라서, 이상의 시험결과들로부터 SP-SSRT법

은 기존의 SCC평가법들에 비해 더욱 빠르고, 명확하게 미시조직의 SCC감수성을 평가할 수 있는 새로운 시험방법으로 정리할 수가 있으며, 앞으로 그 유용성이 크게 기대된다.

4. 결 론

최근 원자로 내벽의 조사손상평가 등에 새로히 이용되고 있는 소형편치시험(SP test)에서 사용되는 미소시험편을 SCC시험에 적용시키려는 목적으로 인공해수중에서 SP-SSRT법에 의한 SCC시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 미소시험편을 이용한 SP-SSRT법은 부식환경하에서 명확한 부하속도의 의존성을 보인다.

(2) SP-SSRT법은 종래의 Ten-SSRT법에 비해 매우 짧은 시간 내에 부식환경에 대한 재료의 SCC 감수성 평가가능성을 보였으며, 그 평가인자로서는 측정이 용이한 최대하중(P_{max}), 변위(δ), SP-에너지(E_{SP}), 파단시간(TTF) 등이다.

(3) SP-SSRT에 의한 SCC의 파괴거동은 제1단계의 탄성굽힘영역과 제2단계의 소성굽힘영역의 전반부는 응력부식균열 발생의 잠복기와 국부적인 점부식(pitting)영역으로, 소성굽힘영역의 후반부는 미시균열(micro crack)의 발생영역으로 그리고 제3단계인 소성막신장영역에서는 응력부식균열의 전파영역으로 구분할 수 있다.

(4) 따라서 SP-SSRT법은 SCC감수성 평가시험 방법으로 사용 가능하며, 새로운 시험방법으로서 유용성이 높다.

참고문헌

- (1) Andrew, J.F., et al., 1979, "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.
- (2) Vogt, G., 1978, "Comparative Survey of Type of Loading and Specimen Shape for Stress Corrosion Tests," Werkst. Korros., Vol. 29, pp. 721 ~ 725.
- (3) Navak, S.R. and Rolfe, S.T., 1969, "Modified WOL Specimen for K_{ISCC} Environmental Testing," J. of Materials, JMLSA, Vol. 4, No. 3, pp.

701~728.

- (4) Parkins, R.N., et al., 1979, "Development of Strain-Rate Testing and Its Implications," ASTM STP 665, pp. 5~24.
- (5) Kim, C.D. and Wilde, B.E., 1979, "A Review of the Constant Strain-Rate Stress Corrosion Cracking," ASTM STP 665, pp. 97~112.
- (6) Sailors, R.H., 1976, "Fracture Feature Anisotropy in a Martensitic Steel Plate," ASTM STP 600, pp. 172~189.
- (7) Lyu, D.Y., You, H.S., Yoon, J.Y. and Chung, S. H., 1992, "Fracture Strength Evaluation of Welded Steel Joint by Means of Small Punch Test," KSME Journal, Vol. 6, No. 2, pp. 73~80.
- (8) Payer, J.H., Berry, W.E. and Boyd, W.K., 1979, "Evaluation of Slow Strain-Rate Stress Corrosion Tests Results," ASTM STP 665, pp. 61~77.
- (9) Holroyd, N.J.H. and Scamans, G.M., 1984, "Slow Strain-Rate Stress Corrosion Testing of Aluminum Alloy," ASTM STP 821, pp. 202~241.
- (10) 廣子哲雄, 高橋秀明, 外 3人, 1987, "海洋環境下における高張力鋼應力腐食割れ挙動の SSRT 法による評価," 日本機械學會論文集(A編), 第 54卷, 第 500號, pp. 746~752.
- (11) JAERI-memo(62-193), 1987, "小型パンチ(SP)試験法(案)," 日本原子力研究所, pp. 1~135.
- (12) "Standard Specification for Substitute Ocean Water," ASTM D1141.
- (13) "Metals Handbook," Vol. 13, Corrosion, ASM, pp. 145~162.
- (14) Payer, J.H., Berry, W.E. and Boyd, W.K., 1976, "Constant Strain Rate Technique for Assessing Stress-Corrosion Susceptibility," ASTM STP 610, pp. 82~93.
- (15) 三浦健藏, 横山康志, 1987, "海水中における HT60, HT80および SNCM439鋼の低ひずみ速度試験特性," 『材料』第36卷, 第411號, pp. 1337~1342.