

人工海水에 의한 海洋構造用鋼 熔接部の 侵蝕-腐蝕舉動  
The behavior of erosion-corrosion of welded structural steels by  
synthetic sea water

염규생\*, 임재규\*\*, 배인진\*\*\*

\*전북대학교, 전라북도 전주시, 70-2321

\*\*전북대학교, 전라북도 전주시, 70-2321

\*\*\*전북산업대학, 전라북도 익산시, 831-2106

## 1. 서론

최근 조선공업의 성장과 석유자원 탐사등을 포함한 해양자원의 개발이 활발히 추진됨에 따라 해양 구조용 강재에 의한 구조물의 대형화가 현저하게 증가하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 구조물이 가동되는 환경도 더욱 가혹화되고 있으며 대형구조물을 건설할때 용접공정은 본질적으로 급속가열 및 냉각과정을 거치기 때문에 금속조직의 폭넓은 변화와 이음부의 구속상태에 따른 응력의 복잡한 분포등을 수반하게 된다<sup>1)~3)</sup>. 그 결과 용접부의 부식특성에도 크게, 혹은 적게 영향을 주고 더우기 해양환경과 같은 혹독한 부식환경중에서 사용될 경우, 재료표면과 수압, 조류의 흐름, 파랑등에 의한 유체와의 기계적상호작용으로 재료의 일부가 서서히 탈리하는 침식과<sup>4)</sup> 전기화학적인 부식이 중첩하여 발생함으로써 침식과 부식이 상호간에 가속하는 상승효과로 인해 구조물, 혹은 장치의 수명에 치명적인 영향을 미친다<sup>5)</sup>. 유동하는 부식성 용액환경에 놓여진 금속이 대단히 빠른속도로 감소되어가는 현상은 옛날부터 잘 알려져 있고 그의 손상기구 및 지배인자는 유동조건 및 환경조건에 따라서 다르다고 생각되어지며 그러한 현상을 넓은 의미로 erosion corrosion이라고 한다. 이러한 erosion corrosion은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 재료, 환경 및 유동이 복잡하게 얽혀서 생기는 재료 공학적, 유체역학적, 전기화학적인 과정이 관련된 현상으로써<sup>6)</sup> 유체역학, 열역학, 그리고 기계적, 화학적 하중하에서의 재료거동등을 포함하는 복합적인 요소들 때문에 많은 연구에도 불구하고 재료의 내구연한을 정확하게 예측하지 못하고 있다<sup>7)</sup>. 따라서 본 연구는 이러한 점에 착안하여 해양 구조용등으로 쓰이는 강재를 사용하여 실험실에서 주어지는 유체와의 접촉, 충돌등에 의한 물리적작용 및 염분도와 같은 환경조건을 실험실에서 모의실험할 수 있도록 인공해수의 분사속도 및 pH를 변화시켜가면서 침식-부식 실험을 실시하였다. 이러한 실험결과를 바탕으로 시험편의 무게손실량을 구하고 표면조도 측정과 인장실험에서의 최대응력을 통하여 손상을 평가하는 시험법을 시도하였다.

## 2. 시험편 및 실험방법

### 2.1 실험재료 및 시험편

본 실험에 사용된 실험재료는 국산 후판재 중에서 용접구조용 및 해양구조용으로 널리 쓰이는 일반구조용 압연강재(SS 41)로 그 화학적 성분과 기계적 특성은 Table 1과 같다. 시험편은 그 길이방향이 압연방향과 동일하도록 후판의 탄소강을 H형 맞대기이음으로 용접한 다음, Fig. 2와 같이 용접상태가 안정된 시험재의 중앙부근에서 방전가공으로 채취하였다. 한편 시험편은 사포 #600~1500정도까지 연마하고, 평량하여 실험에 사용했다.

### 2.2 실험장치

본 실험에서 사용한 침식-부식실험 장치의 전체적인 계통도는 Fig. 3과 같다. 침식-부식관경조는  $\phi 1058\text{mm}$  내경의 아크릴로 제작하여 분사노즐을 설치하였다. 그리고 CorTest사의 PROOF RING #2464와 변형측정기(digital strain indicator)를 이용하여 시험편에 일정응력을 유지하였으며, 온도를 유지시키기 위해서 냉각수관을 용액탱크에 설치하였다.

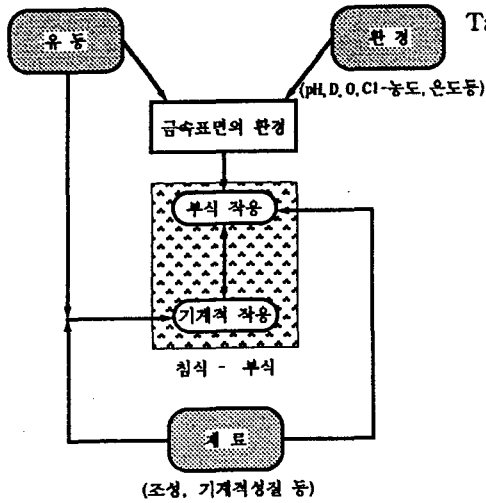


Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of used material

a) Chemical composition (wt%)

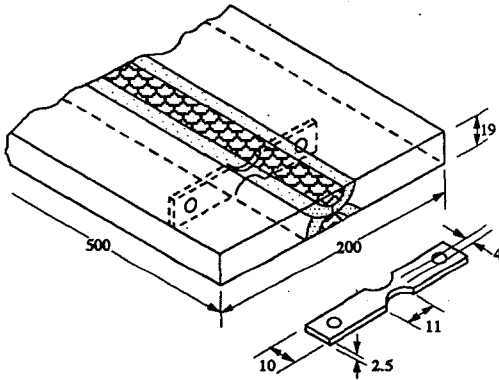
	C	Si	Mn	P	S
SS41	.15	0.03	0.81	0.014	0.034

b) Mechanical properties

Thickness (mm)	Yield Point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
19	255.06	510.12	27

Fig. 1 Relationship between erosion-corrosion and influence factors

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



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

Fig. 2 Configuration of tensile specimen (D : mm)

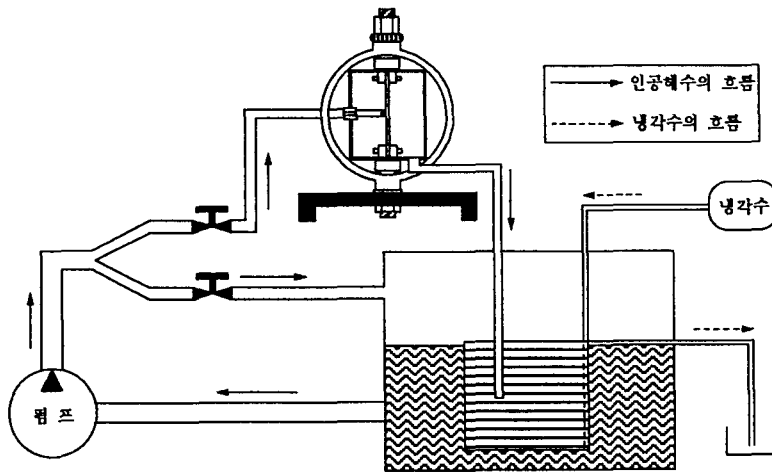


Fig. 3 Schematic diagram of erosion corrosion test apparatus

### 2.3 실험방법

침식-부식환경은 Table 2와 같이 ASTM-D1141<sup>8)</sup>에 따라 제조된 표준 인공해수(synthetic sea water : SSW)로 pH6, 8.2, 10으로 각각 고정하고, 용액의 온도는 약 30℃ 에서 ±2℃범위를 유지하였다. 시험중 pH농도의 변화를 최소화하기 위해 12시간마다 pH값을 측정하여 보정하였다. 시험편은 노출부위를 제외하고 테프론 테이프로 감은뒤 다음과 같은 실험을 행하였다.

1) 단순 침지실험으로써 pH8.2의 용액환경내에서 시험편을 항복응력  $\sigma_y = 26\text{kg}/\text{mm}^2$ 으로 부하시킨 상태와 무부하시킨 상태로 단순하게 침지시키는 실험을 행하였다.

2) 침식-부식실험으로써 pH6, 8.2, 10인 각각의 인공해수를 항복응력  $\sigma_y = 26\text{kg}/\text{mm}^2$ 으로 부하시킨 상태와 무부하시킨 상태의 시험편 표면에 분사하는 실험을 행하였다. 이때의 해수속도는 노출선단에서 각각 0%, 6%, 12%로 분사되도록 하였다.

실험완료된 시험편은 부착된 녹을 제거한 후 세조하고 건조시켜 중량과 표면조도를 측정하였다. 시험편의 표면을 관찰하기 위해서 저배율(14×)검사를 실시하였으며 RANK Taylor Hobson사의 Form TaLy Surf 120을 사용하여 시험편의 표면조도를 측정하였다. 또한 응력을 받고있는 부식환경실험에 의한 재료의 환경강도 평가를 위해서 Jones등<sup>9)</sup>이 제안한 다음식의 응력부식지수(stress corrosion index), (1-a)를 이용하여 재료강도저하를 나타내었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 손상거동에 미치는 유속의 영향

손상거동에 미치는 유속의 영향을 조사하기 위해 중성용액(pH8.2), 수직충돌조건에서 분류속도를 0, 6, 12m/s로 설정하여 시험을 실시한 결과 유속에 따라서 표면상황 및 손상정도에 차이가 생겼다. 손상상황은 Photo. 1에 각각 나타났다. 유속조건에 따른 녹의 제거능력에 차이가 생겨 침지재와 6m/s에서는 녹층으로 인한 산소의 공급부족으로 전면부식이 발생하였으며 12m/s에서는 녹이 부착되지 않은 금속의 광택부분이 나타나 있어 부동태피막이 형성되었다고 생각된다. 12m/s분류속도에 의한 실험에서는 80시간에서 많은 공식을 발견할 수 있었으며 속도에 따른 중량감소 및 단면적손실에 의한 강도저하의 결과를 나타내고 있어 손상이 깊었음을 보여준다. 유속의 증가에 따라서 손상이 커진다는 것을 알 수 있다.

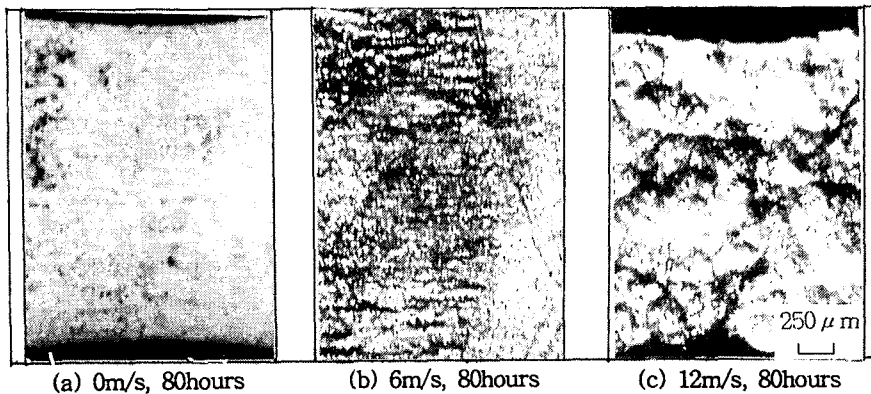


Photo. 1 Photographs of specimen surface after test in pH8.2 (×20)

### 3.2 손상거동에 미치는 pH의 영향

pH변화에 의한 손상거동의 차이를 알기 위해서 산성(pH6), 중성(pH8.2), 알칼리성(pH10)의 해수환경으로 실험하여 표면의 상태와 무게손실 및 강도변화를 각각 살펴보았다. 알칼리성환

경에서는 거의 전면에 걸쳐 금속광택이 남아있어 손상이 경미하였지만 중성에서의 충돌부는 Photo. 1에서와 같이 충돌부근처에 심한 손상이 있음을 볼 수 있었다. pH8.2에서의 무게손실 및 인장강도저하의 관계를 Fig. 4에 나타내었다.

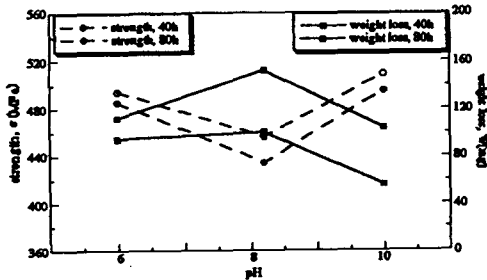


Fig. 4 Weight loss and Tensile strength of specimen at 12m/s

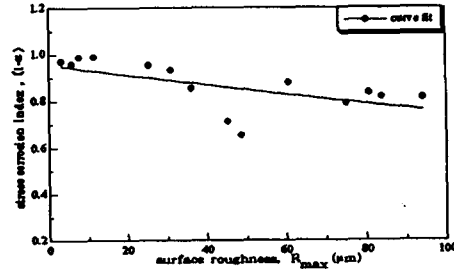


Fig. 5 Correlation between stress corrosion index and surface roughness

### 3.3 조도측정과 기계적 강도실험에 의한 부식평가

시험편의 표면조도  $R_{max}$ 를 측정하고 부식성환경에 있는 재료의 환경강도 평가를 위해서 시험후의 최대인장응력을 구하여 용력부식지수 ( $1-\alpha$ )를 산출하였다. 시험편은 손상정도의 차이에 따라서 최대응력의 변화를 나타내었으며 분류속도 12m/s, 중성환경(pH8.2)에서 가장 낮은 인장응력과 용력부식지수를 보여주고 있었다. Fig. 5는 본 침식-부식실험에 사용된 시험편의 표면조도와 용력부식지수사이의 상관관계가 비교적 직선적임을 알 수 있었다.

## 4. 결론

인공해수를 이용하여 SS41강 용접부에 유속, pH를 변화시켜 침식-부식시험을 실시하고 중량감소량과 표면조도측정, 미시조직관찰 그리고 인장실험을 통한 최대응력에 의해서 손상을 평가한 결과 아래와 같은 결론이 얻었다.

- (1) 용력이 부하되는 중성(pH8.2)환경에서 유속이 증가함에 따라 시험편 표면의 손상은 커지게 된다. 유속의 상승은 녹제거능력과 산소공급속도의 상승을 가져와 확산층이 얇은 부동태피막을 형성시켜 손상량을 증가시키는것으로 생각된다.
- (2) 용력이 부하되는 분류속도 12m/s의 환경에서 산성이나 알칼리성일때보다 중성(pH8.2)일 때 시험편 표면의 손상이 증가하였다. 이는 산소의 용해도 및 확산속도가 중성일때보다도 감소하였기 때문이라고 생각한다.
- (3) 용력을 받고있는 환경에 따라서 재료의 강도변화를 보였으며 중성(pH8.2)이고, 분류속도가 12m/s인 침식-부식조건에서 무게손실과 재료의 강도저하가 현저히 발생하였다.
- (4) 본 실험에서 환경강도 평가를 위한 표면조도  $R_{max}$ 와 시험후의 최대인장응력을 구하여 용력부식지수( $1-\alpha$ )사이의 상호관계가 직선적임을 살펴볼 수 있었다.

## 5. 참고문헌

- 1) W.H. Hartt : Proc.Int. Corros. Forum, No. 81-105, 1981, pp.1~13
- 2) 江原, 山田, 小澤, 石黒, 三菱重工技報 18~5, 1981
- 3) 稻垣道夫, 伊藤慶典 : 高張力鋼, 低溫用鋼の溶接, 産報出版, 1978
- 4) Annual Book of ASTM Standards, Sec. 3 : Vol. 03.02, G40-90a, 1991, p.150
- 5) 日本機械學會, 腐蝕の破壊, 日本工業出版社, 67-73, 1986
- 6) Boshoku Gijutsu, 37, 69-74, 1988
- 7) H.Durrer, Sulzer Technical Review, 3, 55, 1986
- 8) "Standard S 'Ecofocaton for Subsitute Ocean Water", ASTM-D1141
- 9) 前掲書(11) p.125