



## 가스 냉온수기용 STS 304 배관 용접부의 부식특성에 관한 연구

임우조 · †김환식\*

부경대학교 기계공학부, \*부산도시공사  
(2007년 1월 10일 접수, 2007년 6월 1일 채택)

## The Study on the Corrosion Characteristics of STS 304 Pipeline Steel Weldment for Gas Cooling & Heating System

Uh Joh Lim · †Hwan Sik Kim

School of Mechanical Engineering, Pukyong Nat. University, Busan 608-739, Korea  
\*Busan Metropolitan Co., Busan 608-740, Korea  
(Received 10 January 2007, Accepted 1 June 2007)

### 요 약

가스 냉온수기용 STS 304 배관 용접부의 부식특성을 연구하기 위하여, 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN 수용액 중에서 전기화학적 분극시험, 금속조직시험 과 경도시험을 실시하여 STS 304 배관 용접부의 양극 분극거동, 인가전위에 따른 부식거동, 용접부의 금속조직 및 경도거동을 고찰하였다. 다음과 같은 결론을 얻었다. 1) 임계양극전류밀도는 모재보다 용접열영향부에서 많이 배류되고, 기본부동태전위는 모재보다 용접열영향부에서 더 높게 된다. 2) 부동태전류밀도는 모재보다 용접열영향부에서 더 많이 배류되고, 부동태영역은 용접열영향부보다 모재가 더 크게 된다. 3) 인가전압에 의한 용접열영향부의 전류밀도는 모재의 전류밀도보다 더 많이 배류된다.

**Abstract** - In order to study on the corrosion characteristics of STS 304 pipeline steel weldment for gas cooling & heating system. the electrochemical polarization test and corrosion test by impressed potential in 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN solution was carried out. Also, SEM and hardness of welding zone was measured. And then passive behavior, corrosion behavior by the impressed potential and SEM aspect and hardness behavior of base metal(BM) and heat affected zone(HAZ) for STS 304 pipe were investigated. The main results are as follows: 1) The critical anodic current density of heat affected zone(HAZ) is drained more highly than that of base metal(BM), and primary passive potential of HAZ become higher than that of BM. 2) The passive current density of HAZ is drained more highly than that of BM, and passive region of BM become bigger than that of HAZ. 3) By the impressed potential, the current density of HAZ is drained more than that of BM.

**Key words** : Stainless steel, Heat affected zone, Anodic polarization, Hardness, Passive behavior

### I. 서 론

STS 304는 기계적 성질이 뛰어나고 내식성이 우수하여 가스 냉온수기용 배관, 가스보일러 및 주방기기 등의 일반 재료로서 많이 사용되고 있다[1-4].

가스설비의 작동 중 가스 냉온수기용 배관이 부식으로 인해 누설됨으로써 용수나 가스공급의 부족 및 중단현상이 일어날 수 있다. 이와 같은 현상으로 인해 가스 냉온수기용 배관을 수리 및 교환하기 위해 각종 설

비의 작동을 정지해야 하므로 막대한 경제적 손실을 초래하게 되고 더욱이 인명피해도 초래할 수 있다.

산업발전에 따른 화석에너지 소비가 증가하여 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, THC 등의 대기오염물질이 수분이나 물에 혼입되면 오염수가 되거나 산성비에 의해 하천이나 강물이 오염화되고 있다. 이러한 오염환경으로 인해 가스 냉온수기용 STS 304 배관 용접부의 국부부식을 촉진시킬 수 있다[5,6].

따라서 본 연구에서는 가스 냉온수기용 STS 304 배관 용접부에 대한 부식특성을 연구하기 위하여, 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN 수용액 중에서 STS 304배관 용

\*주저자: limuj@pknu.ac.kr

접부의 전기화학적 양극분극시험, 인가전위에 따른 부식시험, 용접부의 금속조직 및 경도시험을 실시하여 STS 304 배관 용접부의 부동태거동, 인가전위에 따른 부식전류밀도거동, 용접부의 금속조직 및 경도시험을 고찰하였다.

## II. 시험재료 및 실험방법

### 2.1. 시험 재료

본 실험에 사용된 시험재는 Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 가스 냉온수기용 STS 304 배관(KS D 3595) 및 전극(KS D 308-16)이다.

Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진

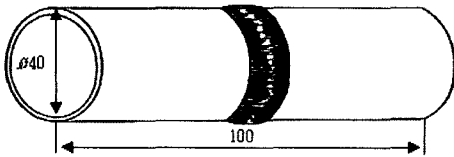
**Table 1.** Chemical compositions and mechanical properties of testing material. (a) Chemical compositions (wt%), (b) Mechanical properties.

(a)

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
STS 304 (KS D 3595)	0.055	0.55	1.10	0.025	0.005	8.25	18.3
Electrode (KS D308-16)	0.06	0.72	1.1	0.02	0.006	9.9	19.7

(b)

Material	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)
STS 304 (KS D 3595)	637	274.4	55
Electrode (KS D308-16)	598	-	47



**Fig. 1.** Configuration and dimension of welded STS 304 pipe (unit: mm).

**Table 2.** Welding condition.

Electrode	Amp (A)	Volt (V)	Heat input (kJ/cm)
2.6 mm(dia.)* 250 mm(L) (KS D308-16)	80	75	6

재료를 모재로 하고, 전극(용접봉)을 건조한 후 아크용접에 의해 두께 2.0 mm인 STS 304 가스냉온수기용 배관에 Fig. 1과 같이 용접을 실시하였으며, 시험편의 용접조건은 Table 2에 나타내었다.

Table 2의 용접조건 중에서 용접입열량  $H$ 는 다음 (1) 식으로 계산하였다.

$$H = 60EI/V \text{ (Joule/cm)} \quad (1)$$

여기서,  $E$ : 아크 전압(V)

$I$ : 아크 전류(A)

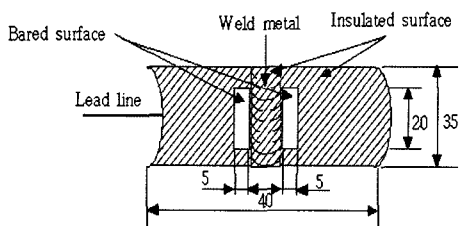
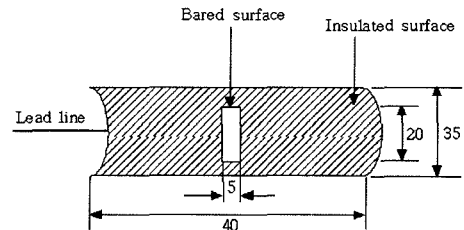
$V$ : 용접 속도(cm/min)

전기화학적 부식시험에 이용한 시험편은 Fig. 1의 STS 304 배관으로부터 가공경화 및 열영향을 배제하기 위하여 다이아몬드 휠커파로 절취하여 제작하였으며, 모재부와 열영향부의 시험편 형상과 크기는 Fig. 2와 같다. 여기서 열영향부 시험편은 bond부 바로 옆에 0.5 cm×2 cm의 크기로 제작하였습니다. 또한 시험편의 유효노출면적은 1.0 cm<sup>2</sup>로 하였고, 나머지 부분은 마스크 및 테플론 테이프로 절연시켰다.

시험편 표면은 400~1200번까지의 에머리 페이퍼를 사용하여 단계적으로 연마한 후 아세톤으로 탈지하고, 열풍으로 건조하였다.

### 2.2. 시험장치 및 실험방법

본 실험에서 가스 냉온수기용 STS 304 배관 용접부



**Fig. 2.** Configuration and dimension of specimen for electrochemical polarization test (unit: mm). (a) base metal, (b) heat affected zone.

의 전기화학적 부식특성을 연구하기 위한 분극시험은 다른 부식 평가법보다 실험시간이 짧게 되고, 비파괴적으로 실시할 수 있는 전기화학적 양극분극시험과 인가 전위에 따른 부식시험을 실시하였다. 이 전기화학적 분극실험장치는 EG & G의 273 potentiostat/galvanostat와 PC를 연결하여, M 352 corrosion software를 이용하여 전기화학적 분극실험을 실시하고, 프린트를 통해서 각종 분극도 Data가 기록되도록 하였다. 여기서, 기준전극은 포화칼로멜전극, 보조전극은 고밀도 탄소봉을 사용하였다.

그리고 가스 냉온수기용 STS 304 배관 용접부에 부식특성을 평가하기 위한 시험용액은 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN 수용액으로 하였으며, 시험온도는 가열코일이 부착된 항온조에 실리콘 오일을 주입하고 자동온도감지기를 설치하여 20±1°C로 일정하게 유지하도록 하였다.

가스 냉온수기용 STS 304 배관 용접부의 민감성을 알아보기 위해서, 용접부의 SEM 관찰 및 경도를 측정하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. STS 304 배관용접부의 부동태 거동

Fig. 3은 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN 수용액 중에서 가스 냉온수기용 STS 304 배관의 모재(BM)와 용접열영향부(HAZ)의 양극분극곡선을 정리하여 나타낸 것이다.

양극전위가 상승하면서 모재와 용접열영향부의 분극 거동은 전류밀도가 급격히 증가하는 활성영역(active region)을 나타내고, 활성영역을 지나 급격히 전류밀도가 감소하는 부동태영역(passive region)으로 활성-불활

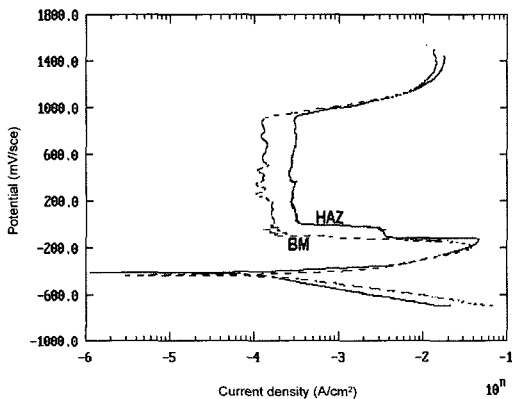


Fig. 3. Potentiodynamic polarization curves of BM and HAZ in 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN solution.

성전이에 따르고 있으며, 또 부동태영역이 유지되다가 전위가 상승하면서 급격히 전류밀도가 증가하는 부동태통과영역(transpassive region)의 3개 영역이 존재하고 있다.

STS 304의 부동태화하는 데에 필요한 임계양극전류밀도(critical anodic current for passivation) I<sub>c</sub>는 모재보다 용접열영향부에서 많이 배류되고, 기본부동태전위(primary passive potential) E<sub>pp</sub>는 모재보다 용접열영향부에서 더 높게 나타나고 있다. 또 부동태전류밀도(passive current density) I<sub>p</sub>는 모재보다 용접열영향부에서 더 많이 배류되고 부동태영역은 용접열영향부보다 모재가 더 크게 나타나고 있다. 그러나 부동태통과전위(break through potential) E<sub>b</sub>는 모재와 용접열영향부에서 유사하게 나타나고 있다.

Fig. 4는 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN 수용액 중에서 STS 304 배관의 모재(BM) 및 용접열영향부(HAZ)의 임계양극전류밀도를 나타낸 것이다.

모재를 부동태화하는 데에 필요한 임계양극전류밀도 I<sub>c</sub>는 용접열영향부를 부동태화하는 데에 필요한 임계양극전류밀도보다 더 적게 배류되고 있다.

Fig. 5는 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN 수용액 중에서 STS 304 배관의 모재(BM) 및 용접열영향부(HAZ)의 기본부동태전위를 나타낸 것이다.

모재를 부동태화하는 데에 필요한 임계양극전류밀도 I<sub>c</sub>에서의 기본부동태전위는 용접열영향부의 기본부동태전위보다 더 낮은 전위에서 임계양극전류밀도를 나타내고 있다.

Fig. 4 및 Fig. 5에서 부동태화하는 데에 필요한 임계양극전류밀도가 모재보다 용접열영향부가 더 크게 배류되고 기본부동태전위는 모재보다 용접열영향부가 더 높게 나타나는 이유는 스테인리스강관의 용접열영향부는 용접열사이클로 인해 초래되는 예민화현상으로

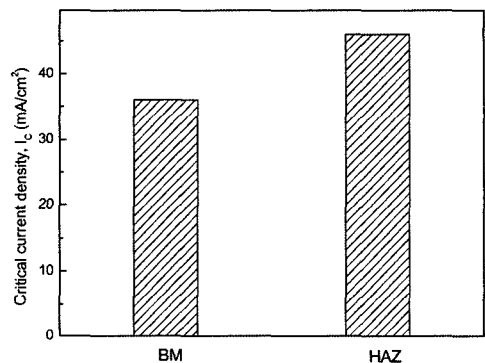


Fig. 4. Critical anodic current for passivation of BM and HAZ in 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN solution.

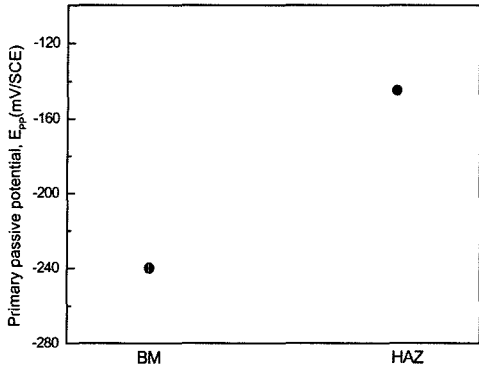


Fig. 5. Primary passive potential of BM and HAZ in 0.5M  $H_2SO_4+0.01M$  KSCN solution.

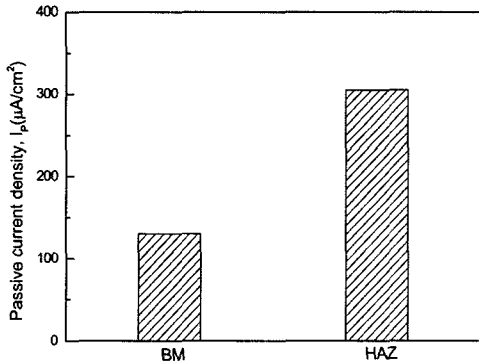


Fig. 6. Passive current density of BM and HAZ in 0.5M  $H_2SO_4+0.01M$  KSCN solution.

(Fe·Cr)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> 형태의 크롬탄화물이 입계에 석출되어 입계부근의 크롬(Cr) 결핍층을 형성하기 때문인 것으로 사료된다[7].

Fig. 6은 0.5M  $H_2SO_4+0.01M$  KSCN 수용액 중에서 모재(BM) 및 용접열영향부(HAZ)의 부동태전류밀도를 나타낸 것이다.

모재의 부동태전류밀도는 용접열영향부의 부동태전류밀도보다 더 적은 전류밀도가 배류됨으로써 부동태화되었을 때의 용접열영향부보다 모재가 더 적게 부식됨을 알 수 있다. 용접열영향부의 부동태전류밀도가 모재보다 더 많이 배류되는 이유는 Fig. 4 및 Fig. 5에서 고찰한 바와 같이 용접열영향부는 용접열사이클로 인해 초래되는 예민화현상으로 크롬탄화물이 입계에 석출되어 입계부근의 크롬(Cr) 결핍층을 형성하므로 크롬에 의해 부동태를 유지하는데 모재보다 더 많은 전류밀도가 소요되기 때문인 것으로 사료된다[8].

### 3.2. 인가전압에 따른 용접부의 부식거동

Fig. 7은 0.5M  $H_2SO_4+0.01M$  KSCN 수용액 중에서

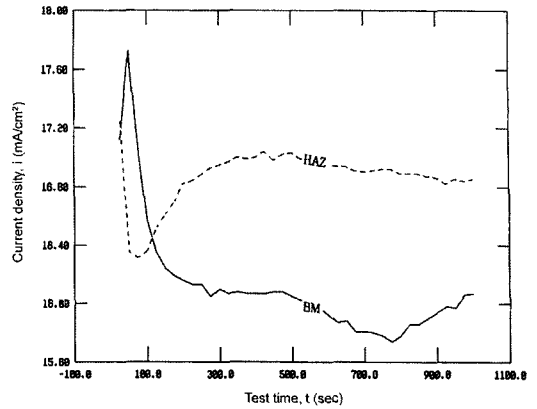


Fig. 7. Current density of BM and HAZ by impressed potential (-200 mV/SCE) region vs test time in 0.5M  $H_2SO_4+0.01M$  KSCN solution.

모재와 용접열영향부의 부동태화하는 데에 필요한 임계양극전류밀도  $I_c$ 에서의 기본부동태전위 부근의 전위 (Fig. 3의 활성영역) -200 mV/SCE로 인가전압을 부가했을 때의 시간경과에 따른 모재 및 용접열영향부의 전류밀도를 나타낸 것이다.

초기에 용접열영향부의 전류밀도가 모재의 전류밀도보다 더 적게 배류되다가 약 110초 이후부터는 계속해서 용접열영향부의 전류밀도가 더 많이 배류되고 있음을 알 수 있다. 초기에 용접열영향부의 전류밀도가 모재의 전류밀도보다 더 적게 배류되는 이유는 용접열영향부는 크롬의 결핍으로 모재보다 대기 중에서 미세한 량으로 부식되어 녹이 형성되었기 때문이고 약 110초 이후부터 전류밀도가 많이 배류되는 것은 형성된 녹이 인가전압으로 용접열영향부로부터 용해되었기 때문인 것으로 사료된다.

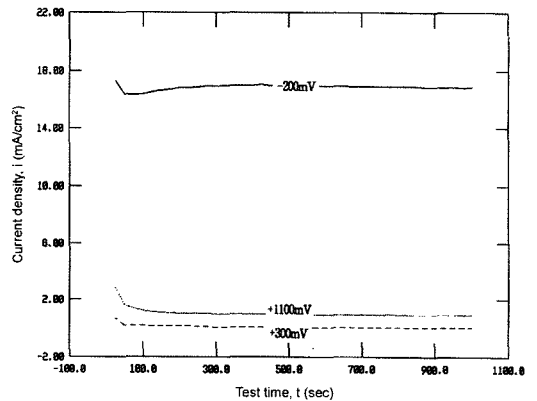


Fig. 8. Current density of HAZ by various impressed potential vs test time in 0.5M  $H_2SO_4+0.01M$  KSCN solution.

Fig. 8은 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN 수용액 중에서 Fig. 3의 활성영역(-200 mV/SCE), 부동태영역(+300 mV/SCE), 부동태통과영역(+1100 mV/SCE)의 전위로 인가전압을 추가하였을 때에 시간경과에 따른 용접열 영향부의 전류밀도를 나타낸 것이다.

활성영역인 -200 mV/SCE 인가전압하에서 용접열 영향부의 전류밀도가 가장 높게 배류되고, 다음은 부동태 통과영역의 초기 전위에 상당하는 전위 +1100 mV/SCE에서의 전류밀도는 부동태영역의 전위인 +300 mV/SCE에서의 전류밀도보다 더 많이 배류되고 있다. 0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN 수용액 중에서 용접열 영향부는 부식에 민감하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

### 3.3. 용접부의 금속조직 및 기계적 경도 거동

0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN 수용액 중에서 STS 304 배관의 용접열 영향부가 모재보다 부식에 민감한 원인을 분석하기 위해 용접부위의 금속조직 및 기계적 경도 거동을 조사하였다.

Photo 1의 모재 와 Photo 2의 용접열 영향부는 주사형 전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과이다. 여기서, STS 304를 etching하기 위한 부식용액은 증류수 중에

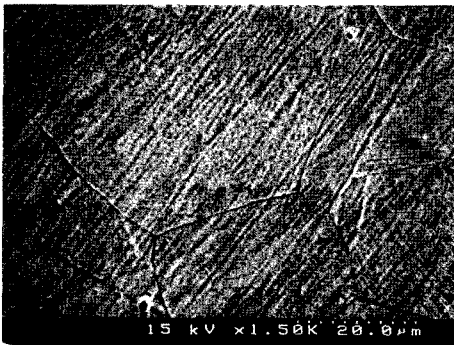


Photo 1. Scanning electron micro-graph of base metal.

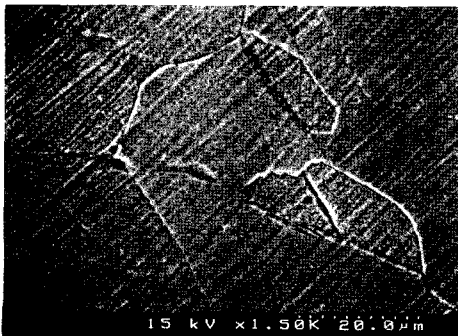


Photo 2. Scanning electron micro-graph of heat affected zone.

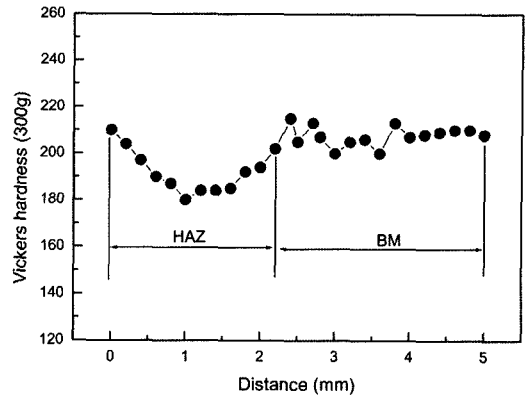


Fig. 9. Vickers hardness on the welded zone.

옥살산(oxalic acid) 10%로 하였다(KS M 8091).

Photo 1의 모재는 균일한 조직을 나타내지만 Photo. 2의 용접열 영향부는 불규칙한 조직을 나타내는 경향이 다. 이러한 경향은 오스테나이트계 스테인리스강재는 변태점이 없으므로 용접열사이클로 인한 변태조직은 기대할 수 없으나 모재가 소성가공되어 있으므로 용접시의 열영향을 받아 일어나는 재결정 현상으로 인하여 조직의 변화가 일어남을 기대할 수 있다. 그러므로 용접열 영향부는 소성가공에 의해 가공경화된 모재의 원질부가 재결정됨으로써 연화될 것으로 추찰된다[9].

Fig. 9는 STS 304 배관 용접부의 기계적 특성인 경도거동을 나타내고 있다.

STS 304 배관의 용접열 영향부는 모재에 비하여 연화되고 있음을 알 수 있다. STS 304 배관의 용접열 영향부가 연화되는 이유는 소성가공에 의해 가공경화된 모재원질부가 용접열사이클에 의해 재결정되기 때문인 것으로 사료된다.

그러므로 분극곡선에서 양극전위가 상승되고 인가전압을 추가한 조건에서 용접열 영향부는 예민화 및 연화 현상의 복합된 효과에 의해 모재보다 부동태피막의 파괴를 쉽게 초래하여 부동태영역이 작게 되고 부동태 전류밀도가 많이 배류되어 부식에 민감한 것으로 고찰된다.

## IV. 결 론

0.5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0.01M KSCN 수용액 중에서 가스 냉온수기용 STS 304 배관 용접부의 전기화학적 부식특성, 금속조직 및 경도거동에 대해 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 임계양극전류밀도는 모재보다 용접열 영향부에서 많이 배류되고, 기본부동태전위는 모재보다 용접열 영향

부에서 더 높게 된다.

2) 부동태전류밀도는 모재보다 용접열영향부에서 더 많이 배류되고, 부동태영역은 용접열영향부보다 모재가 더 크게 된다.

3) 인가전압에 의한 용접열영향부의 전류밀도는 모재의 전류밀도보다 더 많이 배류된다.

### 참고문헌

- [1] 向井喜彦, 오-스테나이트스텐레스강의 용접부의 부식, 日本熔接學會誌, 41(2), 41-51, (1972)
- [2] 小若正倫, 金屬의 부식 と 防蝕技術,阿克ネ社, 263-268, (1985)
- [3] Lancaster, J.F., Metallurgy of Welding, William Glows, London, 178-181
- [4] 吉武進也, 中村治方, 스텐레스강의 용접, 産報出版, 東京, 28-55
- [5] 임우조, 이진평, “工業用水配管의 應力腐蝕龜裂 舉動에 관한 研究”, 韓國漁業技術學會誌, 33(3), 194-195, (1997)
- [6] 田大熙, 吳世奎, 林祐助, “配管防蝕用 流轉陽極의 接地電池 特性에 관한 研究”, 韓國腐蝕學會誌, 10(3), 1-12, (1981)
- [7] Denny A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, Macmillan Publishing Co., 291-292, (1992)
- [8] Davis, J.R., Corrosion Understanding the Basics, ASM international, 151-152, (2000)
- [9] 渡邊正記, 向井喜彦 : 스텐레스강의 용접, 日刊工業新聞社, 東京, 13, (1975)