



## 응축수 중에서 가스보일러용 STS 304의 부식거동에 관한 연구

임우조 · 정기철\* · †윤병두

부경대학교 기계공학부, \*동명대학 냉동공조과  
(2004년 9월 13일 접수, 2005년 1월 24일 채택)

## The Study on the Corrosion Behavior of STS 304 for Gas Boiler in the Condensed Water

Uh Joh Lim · Ki Cheol Jeong\* · †Yun Byoung Du

School of Mechanical Engineering., Pukyong Nat. University, Pusan 608-739, Korea  
\*Dept. of Refrigeration & Air-Conditioning, Tongmyong College, Pusan 608-740, Korea  
(Received 13 September 2004, Accepted 24 January 2005)

### 요 약

가스보일러용 오스테나이트계 스테인리스강재(STS 304)의 부식거동에 관해 연구하기 위하여, 응축수 중에서 전기화학적 부식시험을 수행하여, STS 304의 전기화학적 부식거동을 고찰하였다. 다음과 같은 결론을 얻었다. 1) 중성환경인 pH=6.5에서 pH가 낮아질수록 STS 304의 분극저항은 감소하고, 부식전위는 비전위화된다. 2) 중성 및 산성환경 중에서 STS 304의 부식반응기구는 음극지배로 판단된다. 3) pH가 중성 환경인 pH=6.5에서 강산성 환경인 pH=0.5로 낮아질수록 STS 304의 부동태 전위영역이 감소하고 부동태유지 전류밀도는 증가하고 있다.

**Abstract** – This paper was studied on the corrosion behavior of STS 304 for gas boiler in the condensed water, the electrochemical polarization test of STS 304 for gas boiler in the condensed water was carried out. And the corrosion behavior of STS 304 was considered. The main results are as following: 1) As corrosion environment is acidified from neutrality, the polarization resistance of STS 304 decreases and the corrosion potential is less noble. 2) The corrosion reaction mechanism of STS 304 is cathodic control. 3) As corrosion environment is acidified, the passive potential range of STS 304 decreases. Also, the passive current density of STS 304 increases.

**Key words** : Polarization resistance, Gas boiler, Condensed water, Cathodic control, Passive film

### I. 서 론

보일러는 각 가정에서 뿐만 아니라 업무용 빌딩 및 산업체에 있어서 기본적인 생산설비이고, 또한 에너지 발생설비로서 널리 사용되고 있다.

에너지 소비문제가 있어서, 가장 수요 증가량이 많은 가정용 가스보일러의 고효율화를 위한 연구가 주목을 받고 있다. 특히, 이들의 고효율화를 추진하기 위한 방안으로 가스 콘덴싱 보일러가 가장 주목을 받고 있다. 가스 콘덴싱 보일러는 열교환기의 전열면에서 수증기가 다시 물로 응축될 때 발생하는 열을 흡수하여 물을 가열하고 연소가스 주위의 현열을 공기 예열기로 흡수

하여 보일러의 효율을 높이는 것이다[1].

그러나 가스 콘덴싱 보일러의 응축잠열회수 부위에 배기가스가 연소 중에 노점이하로 낮아지는 경우에 연소가스 중의 수분이 결로 현상에 의해 응축수가 생성된다. 특히, 연소 중에 발생하는 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> 및 THC 등이 응축수에 녹아 들어가 pH를 저하시키면서 산성이 되고, 이 산성환경에 접하는 보일러의 응축 잠열회수 부위의 금속재료는 노점부식(dew point corrosion)을 일으킨다. 가스 콘덴싱 보일러의 열교환기 재료로 사용되는 스테인리스강은 이러한 산성분위기에 놓여 있기 때문에 노점부식손상이 일어날 수 있다[2-4].

따라서 본 연구에서는 응축수 중에서 가스보일러용 오스테나이트계 스테인리스강(STS 304)의 부식거동 대해 연구하기 위하여, 응축수의 pH 변화에 따른 스테인

†주저자:yunbd@mail1.pknu.ac.kr

**Table 1.** Chemical compositions and mechanical properties of used material (STS 304).

Chemical composition (wt %)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
	0.04	0.5	1.09	0.02	0.005	8.1	18.4
Mechanical properties	Tensile strength (MPa)		Yield strength (MPa)			Elongation (%)	
	519		205			55	

리스강재의 전기화학적 부식시험을 실시한 후 STS 304의 분극저항거동, 부식전류밀도, 분극지배특성 및 부동태 거동 등에 대해 고찰하였다.

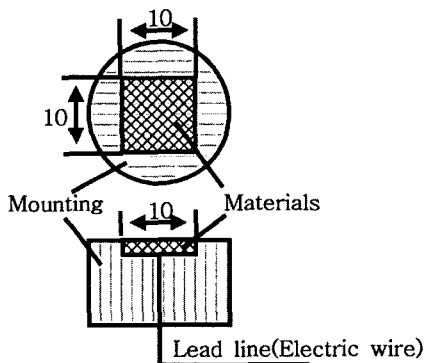
## II. 시험재료 및 실험방법

### 2.1. 시험 재료

본 실험에 사용된 시험재료는 Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 가스보일러용 오스테나이트계 스테인리스강재인 STS 304이다.

전기화학적 부식시험에 이용한 시험편은 Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 STS 304 판재로부터 가공경화 및 열응력을 배제하기 위하여 다이아몬드 휠커파로 가로 10 mm, 세로 10 mm, 두께 1 mm, 유효노출면적은 1.0 cm<sup>2</sup>로 절취하여, 전선을 연결시키고, 호마이커로 마운팅하였으며, 시험편 형상을 Fig. 1에 나타내었다.

시험편 표면은 400~1200번까지의 에머리 페이퍼와 산화알루미늄 분말(0.1 μm)을 사용하여 단계적으로 연마한 후, 시험편의 표면거칠기의 영향을 최소화 및 동일화하기 위하여 연마기에서 산화알루미늄 분말을 이용하여 시험편을 연마하였다. 그리고, 증류수 중에서 초음파 세척기로 세척한 다음, 아세톤으로 탈지하고, 열풍으로 건조하였다. 그 후 시험편과 호마이커 사이의

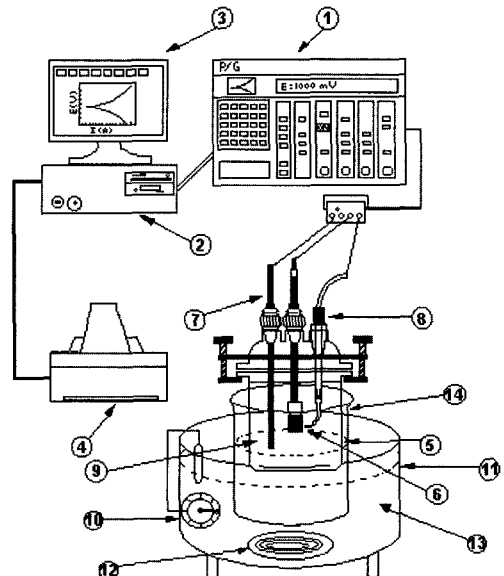


**Fig. 1.** Configuration and dimension of polarization test specimen (unit : mm).

미세한 틈을 방지하기 위하여 래커를 이용하여 2차 피복을 하였다.

### 2.2. 시험장치 및 실험방법

본 실험에 사용된 전기화학적 부식특성시험은 다른 부식·방식 평가법보다 실험시간이 짧게 되고, 비파괴적으로 실시할 수 있기 때문에, 부식 및 방식 평가법으로 많이 이용되고 있는 전기화학적 분극시험을 실시하였다. 이 전기화학적 분극시험장치의 전체계통도는 Fig. 2와 같고, 이 실험장치는 potentiostat/galvanostat (EG&G 273)와 PC를 연결하여, M352 corrosion software를 이용하여 분극특성시험을 실시하고, 프린트를 통해서 각종 분극도 Data가 기록되도록 하였다. 여기서, 기준전극은 포화카로멜전극(saturated calomel



- ① Potentiostat/Galvanostat
- ② Personal computer
- ③ Monitor
- ④ Printer
- ⑤ Corrosion cell
- ⑥ Specimen
- ⑦ Counter electrode
- ⑧ Reference electrode
- ⑨ Electrolyte
- ⑩ Temperature controller
- ⑪ Heater body
- ⑫ Heating coil
- ⑬ Oil bath
- ⑭ Heating beaker

**Fig. 2.** Schematic diagram of polarization test equipment.

electrode, SCE), 보조전극은 고밀도 탄소봉을 사용하였다.

그리고 응축수 중에서 전기화학적 부식시험을 위한 부식시험 용액은 수도수에 질산(HNO<sub>3</sub>)을 혼입하여 pH 0.5, 2, 4, 6.5로 일정하게 하였고, 시험온도는 가열코일이 부착된 항온조에 실리콘 오일을 주입하고 자동온도감지기를 설치하여 25±1°C로 일정하게 유지하도록 하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. 스테인리스강재의 Linear 분극거동

Fig. 3은 산성환경의 여러 가지 pH 중에서 오스테나이트계 스테인리스강재(STS 304)의 선형분극곡선을 나타내고 있다.

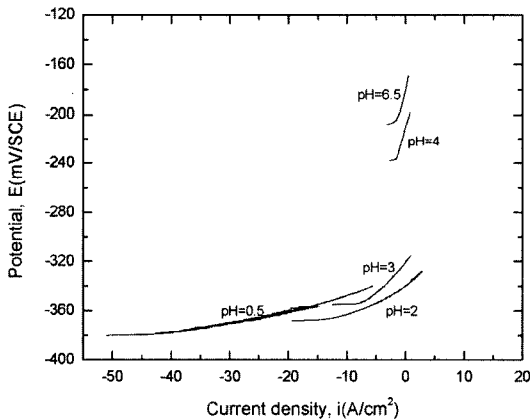


Fig. 3. Linear polarization curves of STS 304 in various pH of acid solution.

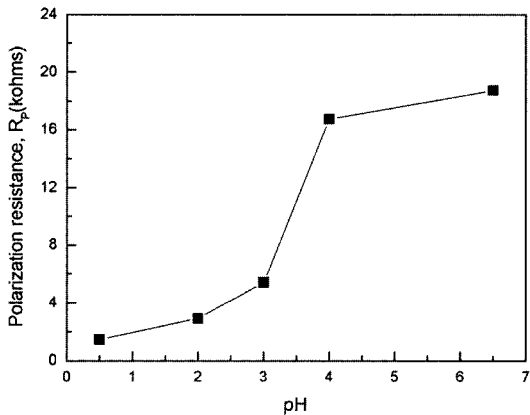


Fig. 4. Polarization resistance of STS 304 vs. various pH solution at 25°C.

STS 304의 전극전위는 중성환경인 pH 6.5에서 강산성 환경인 pH=0.5로 갈수록 낮게 나타나고 있다. 또한, 인가한 전위범위에서 STS 304의 부식전류밀도 변화는 강산성인 pH=0.5에서 가장 민감하게 나타나고 있다.

Fig. 4는 산성환경의 여러 가지 pH 중에서 오스테나이트계 스테인리스강재(STS 304)의 분극저항을 나타낸 것이다.

STS 304의 분극저항은 강산성 환경인 pH=0.5에서 중성환경인 pH=6.5로 변화함에 따라 증가하는 경향이 있다. 특히, pH=3에서 약산성인 pH=4로 변화되면서 분극저항은 급격히 증가하는 양상을 보이고 있다.

따라서 pH가 중성환경에서 강산성환경으로 변화할수록 STS 304의 부식전류밀도는 증가할 것으로 추정된다.

#### 3.2. 스테인리스강재의 Tafel 분극거동

Fig. 5는 산성환경의 여러 가지 pH 수용액 중에서 STS 304의 Tafel 분극곡선을 나타낸 것이다.

STS 304의 부식전위는 중성환경인 pH=6.5에서 강산성 환경인 pH=0.5로 변화함에 따라 비전위화되고 있다. 또한 개로전위 하의 STS 304의 부식전류밀도는 중성환경에서 강산성 환경으로 갈수록 높게 배류되고 있다. 이와 같이 산성환경에서 부식전류밀도가 높게 나타나는 이유는 활성화 분극으로 인한 수소발생형 부식이 일어나기 때문인 것으로 사료된다[5].

Fig. 6은 산성환경의 여러 가지 pH 수용액 중에서 오스테나이트계 스테인리스강(STS 304)의 Tafel 분극곡선에서 구해진 부식전류밀도를 정리하여 나타낸 것이다.

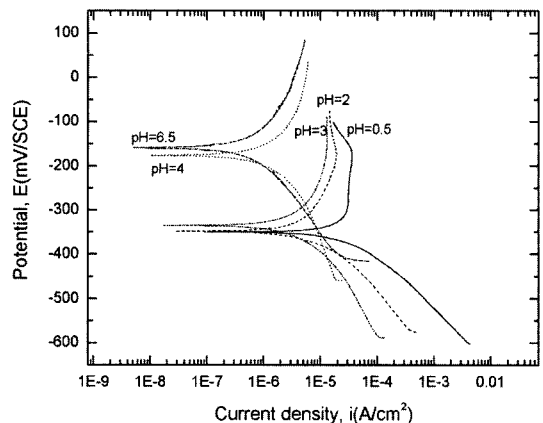


Fig. 5. Tafel polarization curves of STS 304 in various pH solution at 25°C.

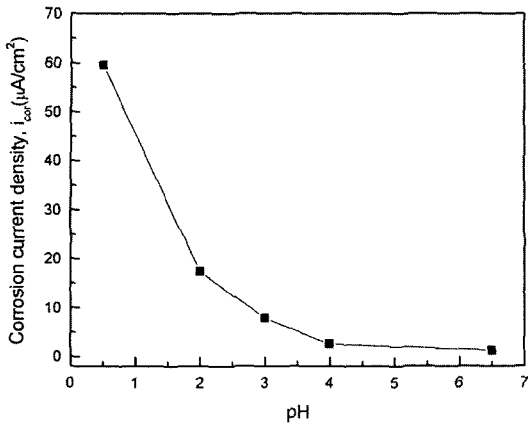


Fig. 6. Corrosion current density of STS 304 in various pH solution at 25°C.

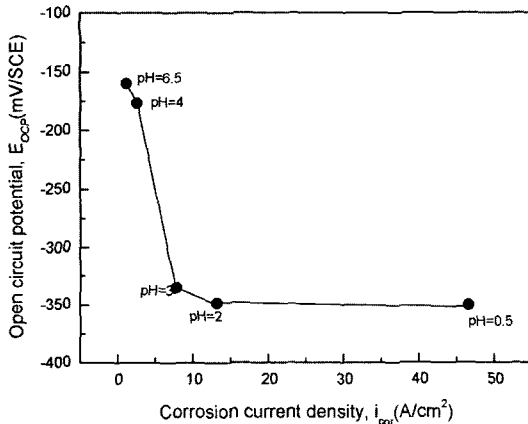


Fig. 7. Open circuit potential vs. corrosion current density of STS 304 in various pH solution at 25°C.

Fig. 4에서 추정된 바와 같이 중성환경에서 강산성 환경으로 갈수록 STS 304의 부식전류밀도는 높게 배류되고 있다. 그러므로 pH가 낮아지면서 산성화될수록 STS 304의 전면부식에 대한 내식성은 저하하는 것으로 사료된다.

### 3.3. 스테인리스강재의 분극지배특성

Fig. 7은 산성환경의 여러 가지 pH 수용액 중에서 STS 304에 대한 개로전위-부식전류밀도( $E-i$ )의 분극선도를 정리하여 나타낸 것이다.

STS 304의 개로전위는 산성화될수록 비전위화되는 경향을 나타내면서 부식전류밀도는 높게 배류되고 있다. 그러므로 부식전위-부식전류밀도( $E-i$ )선도로부터 STS 304의 pH 변화에 따른 부식반응기구는 음극지배

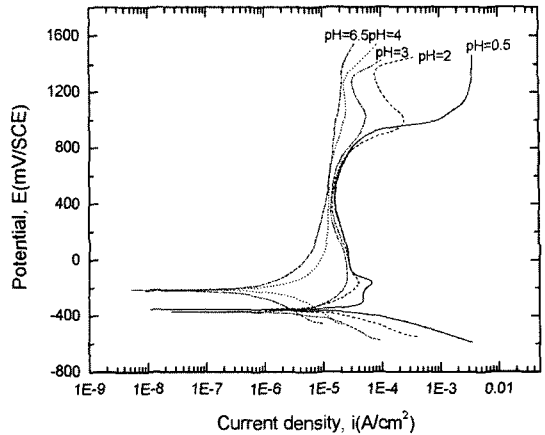


Fig. 8. Anodic polarization curves of STS 304 in various pH solution at 25°C

로 판단된다[6,7].

### 3.4. 스테인리스강재의 양극분극거동

Fig. 8은 산성환경의 여러 가지 pH 수용액 중에서 오스테나이트계 스테인리스강(STS 304)의 양극분극곡선을 나타낸 것이다.

pH가 중성 환경인 pH=6.5에서 강산성 환경인 pH=0.5로 낮아질수록 부동태 전위영역이 감소하고 부동태 유지전류밀도는 증가하고 있다. 이와 같은 이유는 질산( $HNO_3$ )의 첨가에 따른 산성도, 즉 수소이온이 증가하기 때문인 것으로 사료된다[8,9].

그리고 중성 환경인 pH=6.5와 약산성 환경인 pH=4에서는 양극전위가 높아지더라도 부동태는 유지되고 있으나, 강산성 환경인 pH=0.5에서는 부식전위에서 약 800 mV/SCE까지 부동태가 유지되다가 800 mV/SCE 이상의 전위영역에서는 부식전류밀도가 급격히 증가하는 공식전위를 나타내고 있다. 이와 같은 이유는 pH=6.5와 pH=4 수용액 중에서는 부동태화 금속인 Cr에 의해 안정된 산화피막이 형성되지만, pH=0.5 수용액 중에서는 약 800 mV/SCE 부근에서 산소가 발생하면서 부동태 피막이 불안정하게 됨으로써 부식전류밀도가 급격히 증가한 것으로 추정된다[10].

## IV. 결 론

응축수 중에서 가스보일러용 오스테나이트계 스테인리스강재의 전기화학적 부식거동 대해 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 중성환경인 pH=6.5에서 pH가 낮아질수록 분극저

량은 감소하고, 부식전위는 비전위화된다.

2) 중성 및 산성환경 중에서 STS 304의 부식반응기구는 음극지배로 판단된다.

3) pH가 중성 환경인 pH=6.5에서 강산성 환경인 pH=0.5로 낮아질수록 부동태 전위영역이 감소하고 부동태유지전류밀도는 증가하고 있다.

## 후 기

이 논문은 2004년도 두뇌한국 21사업에 의하여 일부 지원되었으며, 이에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

[1] 가스연소기기편람, 한국가스석유기기협회, 185-186, (1998).

[2] 中村義夫, “ボイラーにおける腐蝕の實際”, ボイラ研究 第266號, 37-43, (1994).

[3] K. R Trethewey, J. Chamberlain, “Corrosion for Science and Engineering”, Longman, 281-282, (1995)

[4] 橋本堅, “貯湯槽の腐食及び防食の事例”, ボイラ研究 第266號, 49-53, (1994)

[5] 伊藤伍郎, “腐蝕と防蝕”, 機械工學全書6, コロナ社, 94-96, (1986)

[6] 임우조, 양학회, 인현만, 이진열, “부식과 방식”, 원창출판사, 81-83, (1994)

[7] Davis, J. R., “Corrosion-understanding the basics”, ASM International, 83-84, (2000)

[8] Denny A. Jones, “Principles and Prevention of Corrosion”, Macmillan Publishing Co., 118-119, (1992)

[9] A. John Sedriks, “Corrosion of Stainless Steel”, Electrochemical Society, 87-89, (1996)

[10] 前掲書(8), 118, (1992)