



비저항에 따른 가스보일러용 304 스테인리스강재의 손상거동에 관한 연구

임우조 · 정기철* · †윤병두

부경대학교 기계공학부, *동명대학 냉동공조과, 부경대학교 대학원
(2005년 8월 31일 접수, 2005년 9월 23일 채택)

Study on the Damage Behavior of 304 Stainless Steel for Gas Boiler with Specific Resistance

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 31 August 2005, Accepted 23 September 2005)

요 약

이 논문은 비저항에 따른 가스보일러용 오스테나이트계 스테인리스강(STS 304)재의 손상거동에 관해 연구하기 위하여, 비저항에 따른 전기화학적 분극시험을 수행하였다. 그리고 비저항에 따른 가스보일러용 STS 304강의 양극분극특성 및 손상거동인 공식양상을 고찰하였다. 비저항이 감소할수록 STS 304강의 부동태유지전류밀도는 증가하고 부동태영역은 작아지고 있으며, 관통전위는 낮아지고 있다. 또한 비저항이 가장 높은 $74 \Omega \cdot m$ 중에서 손상거동인 공식양상은 거의 나타나지 않고, 비저항이 낮아질수록 손상거동인 공식양상은 더욱 성장되고, 공식수가 점점 증가하는 경향을 보이고 있다.

Abstract - This paper was studied on the damage behavior of stainless steel (STS 304) for gas boiler with specific resistance. The electrochemical polarization test of STS 304 for gas boiler was carried out. And the anodic polarization and damage aspect, such as pitting corrosion, was considered. With being low specific resistance, the passive current density of STS 304 increases, passive region and pitting potential is low. Also, the pitting aspect of STS 304 in specific resistance $74 \Omega \cdot m$ water little appears, the pitting number increases and the damage behavior, such as pitting aspect, gradually grow bigger with being low specific resistance.

Key words : Gas boiler, Stainless steel, Anodic polarization, Pitting potential, Specific resistance

I. 서 론

보일러는 각 가정에서 뿐만 아니라 업무용 빌딩, 학플랜트, 원자력발전소, 화력발전소, 선박 등에 있어서 기본적인 생산설비이고, 또한 에너지 발생설비로서 사용용도에 따라 다양한 환경에 접하고 있다.

최근 공업단지, 각 가정의 폐수 및 농약 등에 의해 하천이나 강의 환경오염화가 증가되는 추세에 있으며, 더욱이 화석에너지인 석유 및 천연가스의 사용이 증대함으로써 SO_x , NO_x , CO, HCl 및 THC 등은 대기 중의 수분이나 물에 혼입되거나 산성비에 의해 하천수, 강물

등의 담수가 산성화되며, Cl_2 나 HCl 등은 Cl^- 이온에 의해 금속표면의 부동태 피막을 파괴하여 부식을 촉진시킬 수 있다[1,2]. 또한 공업 지역은 대부분 해안에 많으므로 금속재료는 해염인자(Cl^-)에 의한 부식손상을 받는다[3]. 그리고 보일러 용수는 Cl^- 이 용해됨으로써 비저항이 변화하고, 비저항이 낮아짐으로써 가스보일러용 스테인리스강은 손상을 받는다[4-6].

따라서 본 연구에서는 비저항 변화에 따른 가스보일러용 STS 304강의 손상거동 대해 연구하기 위하여, 비저항 변화에 따른 가스보일러용 STS 304강의 분극시험을 실시한 후 STS 304강의 양극분극특성 및 손상거동인 공식양상에 대해 고찰하였다.

†주저자:yunbd@mail.pknu.ac.kr

II. 시험재료 및 실험방법

2.1. 시험 재료

본 실험에 사용된 시험재는 Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 가스보일러용 세관재인 오스테나이트계 스테인리스강재(STS 304)이다.

전기화학적 분극시험에 이용한 시험편은 Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 STS 304강 판 재료로부터 가공경화 및 열응력을 배제하기 위하여 다이아몬드 휠커터로 가로 10 mm, 세로 10 mm, 두께 5 mm, 유효노출면적은 1.0 cm²로 절취하여, 전선을 연결시키고, 호마이커로 마운팅한 것을 Fig. 1에 나타내었다.

시험편 표면은 400~1200번까지의 에머리 페이퍼와 산화알루미늄 분말을 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 미세한 틈을 방지하기 위하여 래커를 이용하여 2차 피복을 하였다.

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of STS 304.

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

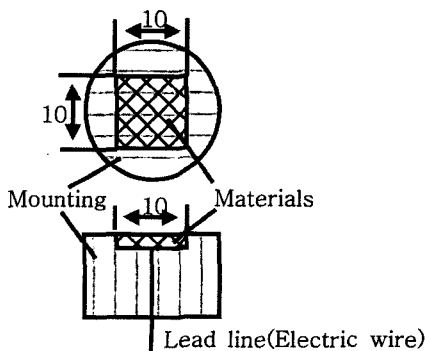
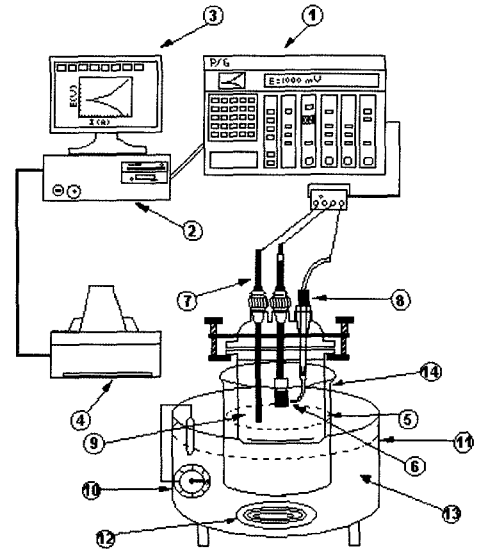


Fig. 1. Configuration and dimension of polarization test specimen (unit : mm).



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

Fig. 2. Schematic diagram of polarization test equipment.

2.2. 시험장치 및 실험방법

본 실험에 사용된 전기화학적 분극시험장치의 전체 계통도는 Fig. 2와 같고, 이 실험장치는 EG&G의 273 potentiostat/galvanostat와 PC를 연결하여, M352 corrosion software를 이용하여 분극특성실험을 실시하고, 프린트를 통해서 각종 분극도 Data가 기록되도록 하였다. 여기서, 기준전극은 포화카로멜전극(saturated calomel electrode, SCE), 보조전극은 고밀도 탄소봉을 사용하였다.

그리고 가스보일러용 스테인리스강의 분극시험을 위한 시험용액은 수도수에 NaCl를 첨가하여 비저항을 74, 15, 2 및 0.25 Ω · m로 일정하게 조절한 수용액이다. 시험온도는 가열코일이 부착된 항온조에 실리콘 오일을 주입하고 자동온도감지기를 설치하여 60±1°C로 일정하게 유지하도록 하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

3.1. 비저항에 따른 STS 304강의 양극분극특성

Fig. 3은 비저항에 따른 STS 304강의 양극분극곡선을 나타낸 것이다.

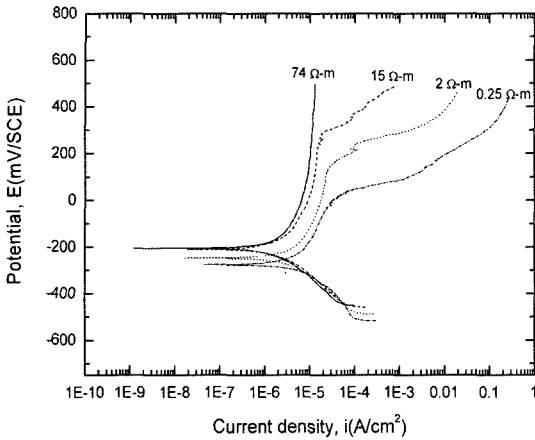


Fig. 3. Anodic polarization curves of STS 304 with specific resistance at 60°C.

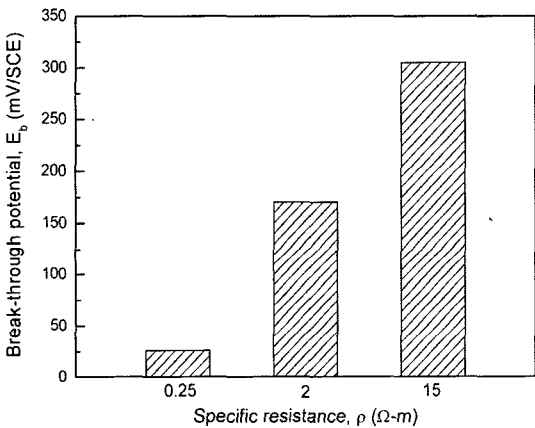


Fig. 4. Break-through potential of STS 304 with specific resistance at 60°C.

비저항이 낮아질수록 STS 304강의 부동태유지전류밀도는 증가하고 있다. 이와 같이 부동태유지전류밀도가 증가하는 이유는 비저항이 낮아질수록 Cl 이온농도가 높아짐으로써 STS 304강의 부동태가 파괴되기 때문인 것으로 사료된다[7].

그리고 비저항이 높은 용수(74 Ω·m) 중에서는 양극전위가 높아지더라도 부동태 영역이 유지되고 있으나, 비저항이 낮아질수록 부동태영역은 감소하고, 관통전위는 낮아질 것으로 추정된다.

Fig. 4는 비저항에 따른 STS 304강의 관통전위를 나타낸 것이다.

비저항이 가장 높은 수도수인 74 Ω·m 중에서 STS 304강의 관통전위는 나타나지 않지만, 비저항이 15, 2, 0.25 Ω·m로 낮아질수록 STS 304강의 관통전위는 낮

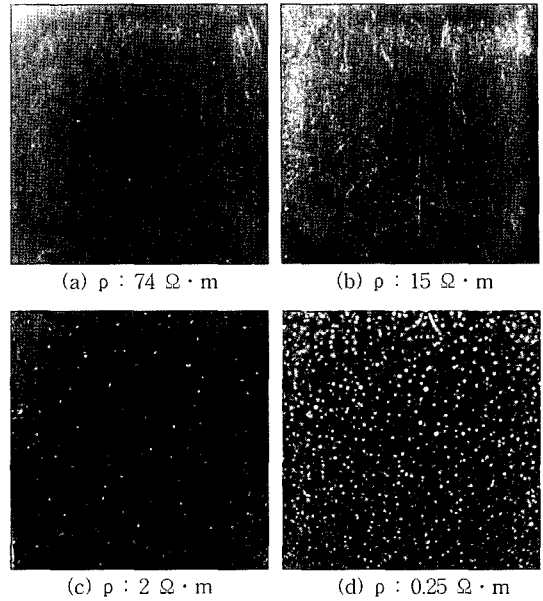


Photo. 1. Surface photograph of STS 304 after corrosion test by impressed potential with specific resistance at 60°C (x6).

게 나타나고 있다. 따라서 비저항이 낮아질수록 STS 304강은 손상거동인 공식에 민감할 것으로 사료된다.

3.2. 비저항에 따른 손상거동

Photo. 1은 개로전위로부터 700 mV/SCE까지 인가전위 부가에 의한 STS 304강의 분극시험 후 손상거동인 공식양상을 나타낸 것이다.

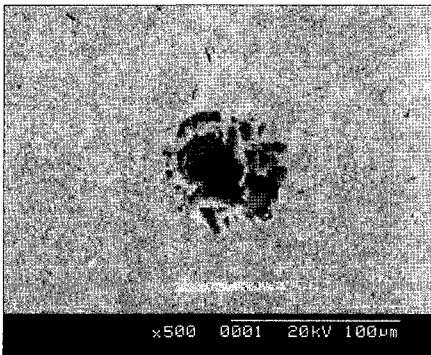
비저항이 가장 높은 수도수인 74 Ω·m 중에서 손상거동인 공식양상은 손상이 거의 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 그러나 Photo. 1의 (b), (c), (d)에서는 비저항이 낮아질수록 손상인 공식양상은 더욱 성장되고, 공식수가 점점 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 Photo. 1의 (b)에서는 미소한 피트(pit)가 많이 나타나고 있다.

Photo. 2는 개로전위에서 700 mV/SCE의 인가전위 부가에 의한 STS 304강의 부식시험 후 손상인 Photo. 1의 (b), (c), (d)에서 공식부위의 양상을 주사현미경으로 촬영한 것이다.

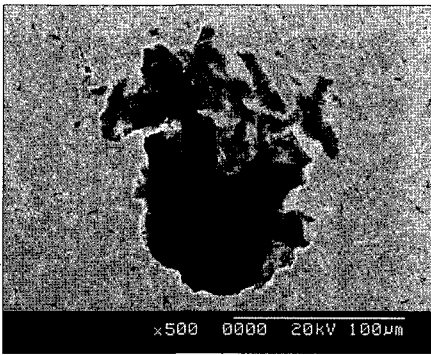
Photo. 1에서 고찰한 바와 같이 비저항이 낮아질수록 공식의 크기가 점점 크게 나타나고 있다. 또 Photo. 2의 (a)에서는 주 pit 주변이 양극으로 작용하여 표면에 미소 pit가 많이 발생한 것으로 추정된다. Photo. 2의 (b)에서는 주 pit 주변이 음극으로 작용하여 부동태화됨으로써 미소 pit가 Photo. 2의 (a)보다 적게 나타난 것으로 추정된다. Photo. 2의 (c)는 비저항이 낮음으로써



(a) $\rho : 15 \Omega \cdot m$



(b) $\rho : 2 \Omega \cdot m$



(c) $\rho : 0.25 \Omega \cdot m$

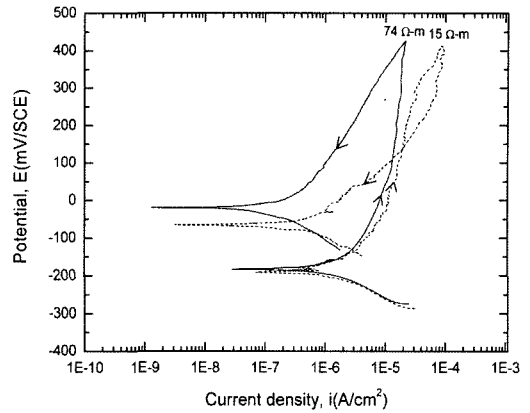
Photo. 2. SEM-photograph of pitting part of photo. 1.

pit가 가장 크게 나타나면서 성장이 진전되고 있음을 알 수 있다.

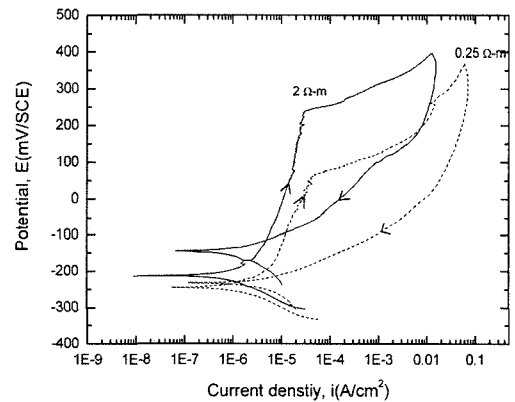
3.3. 비저항에 따른 STS 304의 순환분극거동

Fig. 5는 비저항 변화에 따른 STS 304강의 Cyclic 분극곡선을 나타낸 것이다.

비저항이 $74 \Omega \cdot m$ 인 수도수 중에서 STS 304강의



(a) $\rho : 74 \Omega \cdot m$ and $15 \Omega \cdot m$



(b) $\rho : 2 \Omega \cdot m$ and $0.25 \Omega \cdot m$

Fig. 5. Cyclic polarization curves of STS 304 with specific resistance at $60^\circ C$.

Cyclic 분극곡선 hysteresis loop는 negative hysteresis loop를 나타내고 있으나, 비저항 15, 2 및 $0.25 \Omega \cdot m$ 수용액 중에서는 positive hysteresis loop를 나타내고 있다.

그러므로 비저항이 $74 \Omega \cdot m$ 인 수도수 중의 STS 304강은 정방향 scan에서 파괴된 부동태피막은 복원될 수 있지만, 비저항 15, 2 및 $0.25 \Omega \cdot m$ 수용액 중에서는 정방향 scan에서 파괴된 부동태피막은 복원되지 않을 것으로 사료된다[8]. 또한 정방향 scan에서 비저항이 낮아질수록 STS 304강의 전류밀도는 증가하는 경향을 나타내고 있다.

IV. 결 론

비저항 변화에 따른 가스보일러용 STS 304강의 손상거동에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻

었다.

1) 비저항이 감소할수록 STS 304강의 부동태유지전류밀도는 증가하고 부동태영역은 작아지고 있으며, 관통전위는 낮아지고 있다.

2) 비저항이 가장 높은 $74 \Omega \cdot m$ 중에서 손상인 공식양상은 거의 나타나지 않고, 비저항이 낮아질수록 손상인 공식양상은 점점 성정되고, 공식수가 점점 증가하는 경향을 보이고 있다.

참고문헌

- [1] 前田泰昭, 竹中規訓, “地球規模での酸性雨現状と材料劣化, 日本材料と環境”, **40(9)**, 619-629, (1995)
- [2] 한국건설방식기술연구소, “부식방식 데이터북”, 252-265, (1997)
- [3] J.R. Davis, “Corrosion-understanding the Basics”, ASM International, 102-105, (2000)
- [4] 임우조, 정해규, “원통다관형 열교환기의 침식-부식 특성에 관한 연구(1)”, 한국어업기술학회지, **35(2)**, 196-200, (1999)
- [5] Sedriks, A. John, “Corrosion of Stainless Steel”, Electrochemical Society, Wiley Co., 112-120, (1996)
- [6] K.R. Trethewey and Chamberlain, J., “Corrosion for Science and Engineering”, Longman, 341-346, (1995)
- [7] 伊藤伍郎, “腐蝕と防蝕”, 機械工學全書6, コロナ社, 94-96, (1986)
- [8] William Stephen Tait, “An Introduction to Electrochemical Corrosion Testing for Practicing Engineers and Scientists”, 65-66, (1994)