

원자력 및 화력 발전소의 해수 담수 설비 중 콘덴서 튜브 클리닝 시스템(CTCS)의 스크린 파손사례 분석

장복수^{1,2}, 임영민¹, 김남훈¹, 고진현¹
¹한국기술교육대학교 에너지신소재화학공학부
²정우산기 주식회사
e-mail:bsjang@jimc.co.kr

The failure Analysis of fractured Screen of Condenser Tube Cleaning for Seawater Desalination in Nuclear and Thermal Power Plants.

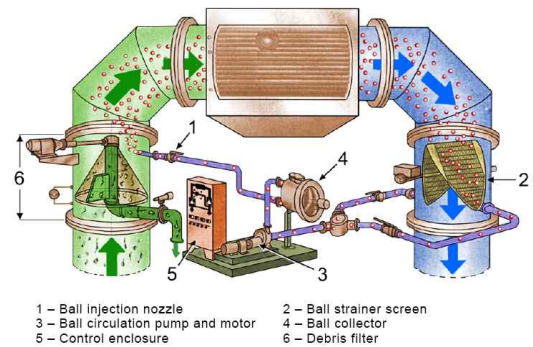
Bok-Su Jang^{1,2}, Young-Min Lim¹, Nam-Hoon Kim¹, Jin-Hyun koh¹
¹School of Energy · Materials · Chemical, Korea University of Technology and Education
²Jeong-woo Industrial Machine Co.,Ltd

요 약

본 연구에서는 원자력 발전 및 화력 발전소에서 Turbine 운전 시 열교환기 및 콘덴서에 증기를 응축 시 열효율을 높여주기 위해 콘덴서 Tube 내에 이물질 및 스케일을 Sponge Ball을 이용하여 자동으로 제거하는 장치로서 콘덴서 튜브 클리닝 시스템(CTCS)에 사용되고 있는 Screen 재료인 Duplex Stainless Steel UNS S31803의 파손사례에 대해 연구하였다. 파손원인 분석은 스크린의 강도해석, 재료의 화학분석시험, 조직시험 및 접용접부의 신뢰성 시험(Peel-off test)으로 수행되었고 저항용접부의 용접 불량 때문에 발생하였을 확인하였다.

1. 서론

원자력 발전 및 화력 발전소 등의 POWER PLANT 설비에서는 바닷물을 이용하여 공업용수를 사용하고 있다. 이 설비는 직접 바닷물을 이용하여 터빈의 열교환기 및 콘덴서를 가동함으로써 바닷물에 포함된 이물질 제거, 스케일링 제거, 표면 피팅 제거, 열교환기 및 콘덴서 튜브의 수명 증가 및 발전소 설비의 효율 향상 등의 이유로 콘덴서 튜브 클리닝 시스템을 이용하고 있다. 그림 1에서 보듯이 1차적으로 Debris Filter에서 바닷물에 함유된 쓰레기와 조개껍데기 같은 크기가 큰 이물질을 제거한다. 이후 Ball Strainer에서 Sponge Ball을 순환을 이용하여 열교환기 및 콘덴서의 Tube에 부착되어 있는 부착물 제거, 스케일링 제거 및 표면의 피팅 등을 제거 하는 기능을 가지고 있다. 여기서 Ball Strainer의 Screen의 파손에 대해 연구 하였다.



[그림 1] 장비의 도식도

2. 실험방법

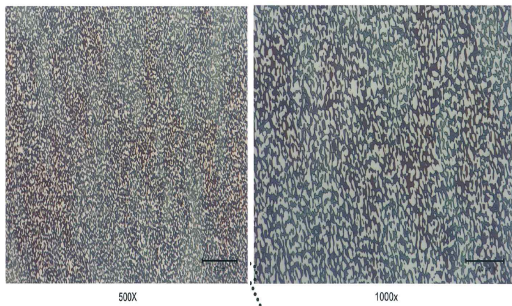
본 연구에서는 표 1은 ASTM UNS S31803과 실제 사용한 스크린의 화학성분을 비교하였고, 그림 2는 파손된 Screen의 샘플을 채취하여 조직시험 실시 하였다. 그림 3은 Screen의 작용하는 강도를 유한요소해석을 이용하여 해석하였으며 그림 4는 접용접부

의 신뢰성 시험(Peel-off test)을 실험하였다.

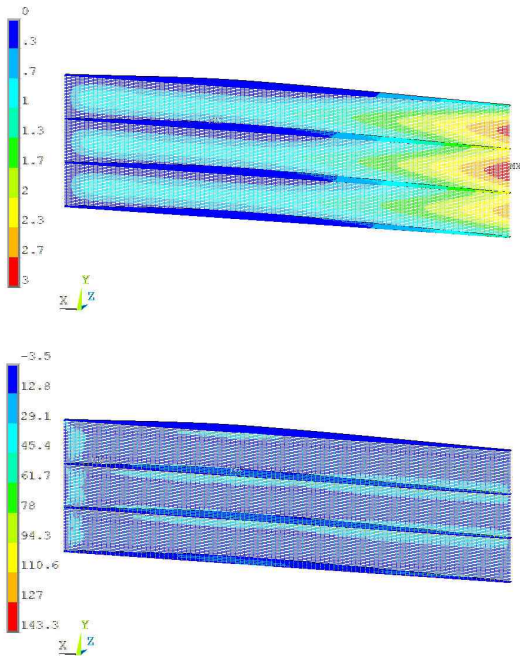
3. 실험 결과 및 고찰

[표 1] UNS S31803의 화학성분(%)

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
ASTM	0.030	2.00	0.030	0.020	1.00	21.0-23.0	4.50-6.50	2.50-3.50	0.08-0.20
파손품	0.030	1.43	0.012	0.004	0.53	22.88	5.42	3.04	0.13



[그림 2] 파손품의 조직사진



[그림 3] Screen에 작용하는 강도의 유한요소해석

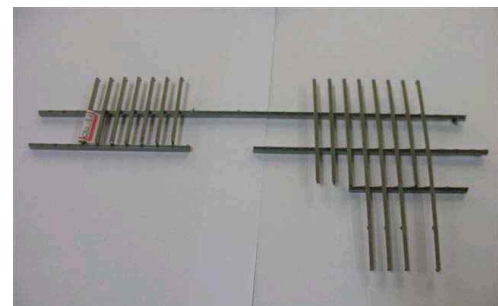


[그림 4] 점용접부의 신뢰성 시험(Peel-off test)

3.1 파손 분석

본 연구에서는 Duplex Stainless Steel의 화학성분과 조직시험은 국내 공인기관인 한국화학융합연구소에서 시험하였으며 결과는 ASTM에서 요구하는 화학적 조성에 모두 만족하였으며 또한 조직시험의 경우는 Austenite와 Ferrite 계열의 조직이 적절히 분포되어 있었다. 즉 재료의 화학 성분 및 조직에 대한 문제는 없는 것으로 나타났다.

Screen의 강도평가는 3m/s의 유속에서 구한 압력을 적용하여 스크린에 발생하는 응력을 계산하였다. 사용 중인 모델에 해당 압력을 적용할 때 발생하는 스크린의 굽힘응력과 처짐을 그림 3에 표시하였다. 이 경우 스크린에 발생하는 굽힘응력은 54MPa이며 수직방향 처짐은 1mm이었다. 굽힘응력 54MPa은 스크린의 허용강도 225MPa에 대비하여 24%에 해당하는 값으로 스크린이 요구하는 강도를 충분히 만족하였다. 일반적으로 거론되는 유동해석의 오차를 고려하여도 유속 3m/s에서 스크린의 허용강도를 초과하는 응력이 발생할 위험은 없다고 판단되며 더욱이 항복강도와 비교하면 스크린의 강도는 충분히 만족됨을 알 수 있었다.



[그림 5] 파손된 스크린의 실물

그림 3에서 압력에 의해 surface profile에 발생하는 응력은 support profile의 응력에 비해 15% 이하로, 이는 정상적인 상태에서는 surface profile이 파단될 원인이 없다는 것을 의미한다. 즉 surface profile에 파단이 발생할 정도의 압력에서는 support profile이 보강판과 연결되는 대부분의 지점에서 파단이 발생하여야 한다. 그러나 그림 5에 표시된 파단된 스크린의 형상을 살펴보면 support profile의 파단뿐 만 아니라 surface profile의 파단이 동시에 수반되었다.

그림에도 불구하고 Support profile의 파단은 제한

참고문헌

된 일부 영역에서만 발생하였다. 또한 보강판과 용접되는 지점을 제외한 중간 지점에서는 수압에 의한 응력은 매우 작음에도 불구하고 해당 영역에서 부재들의 파단이 발생하였다. 이러한 결과는 단순히 수압에 의해 부재에 과도한 굽힘이 발생하여 파단으로 이어진 것이 아님을 의미한다. 더욱이 surface profile은 노출되는 굽힘의 정도가 미미하고, 동시에 surface profile의 굽힘의 크기는 후방 지지판의 강성과 무관하므로, 파단의 원인이 스크린 구조물의 강성 부족에 기인하지 않는다.

아울러 매우 작은 응력이 발생하는 영역인 보강판 사이의 중간에 위치한 점용접지점에서 다수의 탈락이 발생하였다. 즉 크지 않은 응력에 의해서도 점용접 지점에 탈락이 발생한 경우로, 이는 부재의 굽힘과는 무관하게 support profile에 발생하는 수압으로 인한 추력을 점용접 지점이 감당하지 못한 결과로 사료된다. 즉 Peel off test 결과 일부의 점용접 지점에서 용접부 또는 열영향부에서 파괴가 발생하여 본 시스템 가동시 요구되는 정상적인 조건을 만족하지 못하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

(1) 본 연구에서는 ASTM UNS S31803과 실제 사용한 스크린의 화학성분을 비교해 본 결과 모든 화학성분이 ASTM에서 요구하는 Duplex stainless steel의 화학적 조성을 만족하였다.

(2) 조직시험의 경우 Austenite와 Ferrite계열의 조직이 약 50:50으로 적절히 분포되어 있었다.

(3) Screen의 작용하는 강도는 항복강도 450MPa이며, 충분한 안전계수를 확보하기 위하여 허용강도는 225MPa로 간주하고 실험한 결과 허용강도 대비 16kPa의 압력을 유지할 수 있으며 항복강도 대비 32kPa의 압력을 유지할 수 있었다.

(4) 용접부의 강도설계 오류가 아니며, 파단된 부분이 주로 용접부가 뜯어진(tear off)된 형상으로 보아서 용접부의 강도가 다른 부분에 미치지 못한다. 즉 이는 용접부의 결함이다. 점용접부의 신뢰성 시험(Peel-off test)은 용접 모재부분이 아닌 열영향부에서 파단이 발생하여 용접부의 건전성을 유지하고 있다.

- [1] A240 UNS S31803 STANDARD ASTM Code SECTION II, 2007,
- [2] KINS/GR-359, 원자력 안전규제의 기술개발: 원전 기기 건전성 평가 규제 기술 개발, 2006
- [3] “Ball Strainer Screen 파손에 대한 보고서” Jeongwoo Industrial Machine Co.,LTD., 2011
- [4] “Duplex Stainless Steel 기계적 성질에 대한 연구” MatWeb사, U.S.A, 2010
- [5] “Duplex Stainless Steel Mirco-Structure Report” Korea Testing & Research Institute, 2011
- [6] “CTCS & Debris Filter에 대한 보고자료” OVIVO, U.S.A, 2009