

탈산소제 차단 수처리에 의한 배열회수보일러 저압증기발생기 연결배관내의 유동가속부식 저감

손병관, 이재현*[†]

한국중부발전, *한양대학교 기계공학부

Reduction of the Flow Accelerated Corrosion within Low Pressure Evaporator Connection Pipe by Interception of Hydrazine for Water Treatment

Byung-Gwan Son, Jae-Heon Lee*[†]

Korea Middle Power CO.,Ltd., Seoul 135-280, Korea

*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received October 23, 2013; revision received October 31, 2013)

초 록 : 유동가속부식에 의해 배관이 파손된 500 MW급 A 복합발전소 배열회수보일러 저압증기발생기 배관을 모델로 삼아 배관급수 내의 용존산소 부족이 유동가속부식의 주요 원인임을 도출하고 용존산소를 증가시키기 위해 적용된 하이드라진 차단 수처리에 대한 적용효과를 분석하였다. 수처리 적용 1년 후 급수의 용존산소는 0.15 ppb에서 3~5 ppb로 상승되고, 산화환원전위도 -245 mV에서 170 mV로 산화성으로 상승되었다. 또한 유동가속부식에 의한 부식생성물인 철분함유량은 18.5 ppb에서 5~7 ppb로 감소되었다. 따라서 하이드라진 차단 수처리로 급수의 용존산소가 증가되며 유동가속부식에 의한 배관의 부식생성물인 철분함유량이 감소됨을 확인하였다.

ABSTRACT : Based on case that HRSG low pressure steam generator tube was damaged by FAC in 500 MW A CCPP. This case analyzed the effect of application about the block of hydrazine water treatment which is applied for increasing dissolved oxygen. And also try to deduce the major factor of FAC Which is caused by lacking of dissolved oxygen of boiler feed system. After 1 year of water treatment, the figure of dissolved oxygen in the boiler feed water has increased from 0.15 ppb to 3~5 ppb and the figure of oxidation reduction potential has increased from -245 mV to 170 mV. And Iron content, the corrosion products by FAC has decreased from 18.5 ppb to 5~7 ppb. According to the result of experiment, we could able to confirm that the interception of hydrazine of water treatment is effective to reduce FAC.

Key words : Flow Accelerated Corrosion(유동가속부식, FAC), low pressure evaporator(저압증기발생기), dissolved oxygen(용존산소), iron content(철분함유량), oxidation/reduction potential(산화환원전위)

1. 서 론

1.1 연구배경 목적

유동가속부식은 유체에 의해 금속표면의 부식물질이 제거되어 금속 두께의 감소가 가속화되는 현상으로 탄소강 재질 배관에 주로 나타난다. 유동가속부식은 1986년 12월 미국 원자력발전소 Surry 2호기 응축기 배관 파손

[†] Corresponding author
Tel. +82-2-2220-0425; Fax. +82-2-2220-4424
E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr

탈산소제 차단 수처리에 의한 배열회수보일러 저압증기발생기 연결배관내의 유동가속부식 저감

사고로¹⁾ 다수의 사상자와 심각한 물질 피해를 가져오면서 본격적인 연구가 시작되었다. 유동가속부식의 주요 발생인자로는 유속, pH, 온도, 재질, 용존산소 부족 등 다양하나 본 연구에서는 배관급수 내 용존산소 부족에 의한 유동가속부식의 사례와 개선방안으로 제시되는 보일러급수 수처리 적용효과에 대해 연구하고자 한다. 발전소 급수 수처리는 1960년대 배관 내 동합금 부식을 개선하기 위해 탈산소제인 하이드라이진을 급수에 주입하여 용존산소를 제거하는 전회발성환원 수처리(AVT[R]: All Volatile Treatment[Reducing])를 사용하였다. 용존산소의 부족은 동합금 부식을 억제하였으나 배관 내 피막층을 무르게 하여 유동가속 부식이 증가하였다. 1980년대 이후 드럼 및 배관계통에 동합금 성분을 사용하지 않게 되자 하이드라이진 차단 수처리(AVT[O]: All Volatile Treatment[Oxidizing]) 연구가 시작되었다. 1991년 남아프리카의 Lethabo 발전소²⁾에 하이드라이진 차단 수처리가 처음 적용된 이후 해외 발전소에서는 하이드라이진 차단 수처리가 본격적으로 적용되었다. 국내에는 2000년 이후 일부 복합발전소에서 전회발성산화 수처리가 적용되었으며 아직 적용효과에 대한 연구실적은 미미한 상태이다.

1.2 연구내용

유동가속부식이 발생된 국내 500 MW급 A 복합발전소 저압증기발생기 연결배관의 파손을 연구모델로 하여

Table 1 LP evaporator maintenance history by FAC

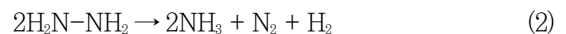
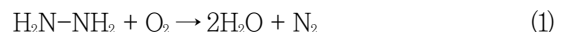
No	Location	Type of damage	Quantity
1	HRSG 2	Rupture	3
2	HRSG 1	Leak	1
3	HRSG 2	Leak	2
4	HRSG 1,2	Less than minimum thickness	12
5	HRSG 1,2	Less than minimum thickness	16
6	HRSG 2	Less than minimum thickness	5
7	HRSG 3	Rupture	1
8	HRSG 3	Less than minimum thickness	8

복합발전소 배열회수보일러 저압증기발생기 유동가속부식 파손사례, 급수 수처리 현황을 확인하고 적용된 전회발성산화 수처리의 적용효과를 1년간의 운전 data를 통해 pH, 양이온전도도(CC: Cation Conductivity), 철분 함유량(Fe), 용존산소(DO: Dissolved Oxygen), 산화환원전위(ORP: Oxidizing/Reducing Potential)를 각각 분석하여 전회발성산화 수처리 방식이 유동가속부식 저감에 영향을 주는지 연구하였다.

2. 유동가속부식 및 사례

2.1 하이드라이진의 영향

하이드라이진은 강력한 탈산소제로 200℃ 이하에서는 식(1)과 같이 용존산소와 반응하여 H₂O와 N₂가 생성되면서 용존산소를 제거한다. 200℃ 이상에서는 식(2)에 따라 H₂를 발생시켜 급수를 용존산소가 없는 환원성으로 유지시킨다³⁾. 이 방식은 배관 내 용존산소 농도를 낮춰 부식물질 생성을 방지하나 배관 내면의 피막이 마그네타이트 조직을 생성시켜 유동가속부식을 촉진하는 원인이 된다.



2.2 저압증기발생기 파손사례

A 복합발전소 저압증기발생기 연결배관은 총 1,170개로 구성되며 배관 두께는 2.6 mm, 각 배관 길이는 10



Fig. 1 Location of FAC at LP evaporator

Table 2 Comparison of A CCPP and water treatment standard AVT[R]

Item	A Plant	AVT[R]	AVT[O]
pH at deaerator	9.4	9.2~9.6	
ORP(mV) at deaerator	-245	-300~-350	Oxidizing
O ₂ (ppb) at boiler feedwater pump	0.15	< 5	< 10
Fe(ppb) at boiler feedwater pump	18.5	< 2	
Reducing agent (Hydrazine)	Yes	Yes	No

m, 배관 당 25~90°의 굴곡부가 구성되어 있다. Table 1은 저압증기발생기 파손사례로 파손에 따른 발전소 정지 없이 발전소 정비기간 중 정비를 시행하였다.

Fig. 1은 파손부로 헤더와 저압증기 발생기 연결배관의 굴곡부에서 파손이 진행되었다.

2.3 A 복합발전소 급수 수질관리

Table 2는 A 복합발전소 보일러 급수 수질과 전회발성 수처리 수질기준^[4]을 비교한 것으로 pH는 9.4로 AVT[R] 수처리 기준안에 위치하였다. 산화환원전위는 -245 mV로 AVT[R] 기준 -300~-350 mV 보다 환원성을 유지하였다. 용존산소량은 0.15 ppb로 수처리 기준인 5 ppb 보다 매우 낮게 운영되어 급수에 용존산소가 사실상 존재하지 않음을 알 수 있었다. 철분함유량은 급수 중에 용해된 철분을 나타내며 유동가속부식에 의한 부식생성물로 예측할 수 있다. 측정결과 18.5 ppb로 수처리 철분 함유량 기준 2 ppb의 9배 이상 초과되어 배관에 유동가속부식이 활발하게 진행됨을 예상할 수 있다.

3. 하이드라이진 차단 수처리

3.1 하이드라이진 계통 차단

Fig. 2는 하이드라이진 계통도로 하이드라이진 차단을 위해 하이드라이진 공급밸브를 차단하고 용존산소를 유

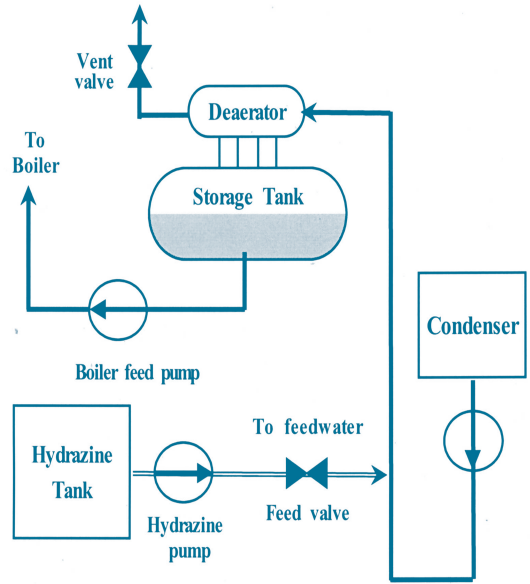


Fig. 2 Hydrazine injection system at A CCPP

지하기 위해 탈기기의 탈기 벤트밸브를 급수의 수질변화를 확인하면서 하이드라이진 차단 후 3개월부터 서서히 닫아 6개월 후 완전히 차단하였다.

3.2 하이드라이진 차단 적용 효과

Table 3은 A 복합발전소 하이드라이진 차단 수처리 적용 1년 후의 양이온전도도, 용존산소, 산화환원전위, 철

Table 3 Water analysis after interception of hydrazine

Item	Before	After	Difference
Cation conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$) at deaerator	0.098	0.099	0.001
Dissolved oxygen(ppb) at BFP	0.15	3.0	2.85
ORP(mV) at deaerator	-245	170	415
Fe(ppb) at BFP	18.5	5	-13.5

탈산소제 차단 수처리에 의한 배열회수보일러 저압증기발생기 연결배관내의 유동가속부식 저감

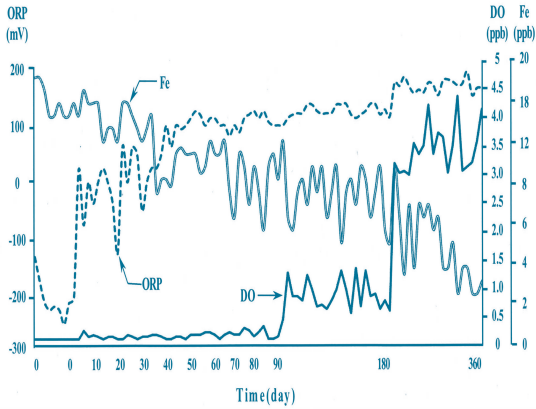


Fig. 3 Water analysis after interception of hydrazine

부함유량을 나타낸 자료로 분석오차를 방지하기 위해 발전소 기동·정지 등 비정상적인 측정값은 제외하였다. 양이온전도도(Cation conductivity)는 급수 중에 포함된 수중불순물의 총량을 나타내는 수질 측정의 기본 자료이다. 하이드라이진 차단에 따른 용존산소의 증가로 N_2 가스발생량이 감소하여 양이온전도도가 감소될 것으로 예상하였으나 측정결과 하이드라이진 차단 전·후의 양이온전도도의 차이는 변화가 없었다.

Fig. 3은 하이드라이진 차단 직후부터 1년간 변화되는 추세를 나타낸 그림으로 차단 직후(0 day), 탈기 벤트밸브 차단을 시작한 시점(90 day), 벤트밸브를 완전히 차단한 시점(180 day)별로 용존산소, 산화환원전위, 철분함유량의 변화를 알 수 있다.

3.2.1 용존산소(DO)의 증가

급수 계통 용존산소량 증가는 하이드라이진 차단 전 0.15 ppb에서 차단 후 90일까지 서서히 증가하여 0.2~0.5 ppb 사이를 유지하였다. 탈기 벤트밸브를 차단하기 시작한 90일에서 180일 기간에는 0.5~1.0 ppb까지 상승하였고 조절밸브를 완전히 닫은 180일 이후에는 3 ppb로 상승되었다. 탈기 밸브 차단 후 용존산소량 곡선 상하 변동이 ± 0.5 ppb로 차이가 나는 것은 발전소 주말 기동정지에 따른 보일러 급수를 전량 교체하는 과정 중 수질관리를 위한 약품처리, 탈기과정, 발전소 정상 가동 중 불응축가스 농축 시 불응축가스를 일시 배출시키는 과정에서 용존산소도 일부 배출되는 현상으로 볼

수 있다. 하이드라이진 수처리 적용 약 1년 후부터 용존산소는 더 이상 증가되지 않았다. 이는 AVT[O]의 용존산소 기준(10 ppb)보다는 적은 증가로 더 이상의 용존산소 증가를 위해서는 보일러 공급수의 용존산소를 늘리거나 별도의 급수계통의 용존산소 주입설비 등이 필요할 것으로 예상된다.

3.2.2 산화환원전위(ORP)의 상승

하이드라이진 차단 직후 산화환원전위곡선은 -245 mV에서 0 mV로 상승한 후 20일 동안 -70~100 mV 정도의 큰 폭으로 변동되었다. 20일~180일 구간에는 100~150 mV로 유지된 후 탈기기 벤트밸브가 차단된 180일 이후에는 160~180 mV 범위로 안정적으로 유지되었다. Fig. 3의 그림에서 산화환원전위는 용존산소의 증가가 발생된 직후부터 산화성으로 전환됨을 알 수 있다. 이후 용존산소량의 상승에 따라 산화환원전위도 상승되었다. 용존산소가 3 ppb로 상승된 이후 산화환원전위 곡선은 155~180 mV를 유지하였다.

3.2.3 철분함유량(Fe)의 감소

철분함유량은 하이드라이진 차단 전 18.5 ppb에서 차단 90일 후 13 ppb까지 감소하였다. 탈기기 벤트밸브 차단 후 철분함유량이 다시 감소하기 시작해 차단 1년 후 철분함유량은 5~7 ppb까지 감소되었다. 철분함유량은 용존산소의 증가와 함께 감소되었으나 용존산소 변화에 비해 서서히 감소하였다. 하이드라이진 차단 수처리 적용 1년 후 용존산소량의 증가는 멈추었으나 철분함유량은 계속 감소하여 하이드라이진 차단이 2년 경과된 최근에서야 철분함유량이 2~4 ppb까지 감소된 후 안정적으로 유지하고 있다.

4. 결론

국내 500 MW급 A 복합발전소 배열회수보일러 저압 증기발생기 연결배관의 유동가속부식을 저감하기 위해 보일러 급수 수처리를 전회발성환원 수처리에서 하이드라이진을 차단한 전회발성산화 수처리로 변경한 결과 다음과 같은 적용효과를 확인하였다.

탈산소제 차단 1년 후 급수의 용존산소량은 0.15 ppb에서 3 ppb까지 증가되고 급수의 산화환원전위도 -245

mV에서 170 mV로 환원성에서 산화성분위기로 전환되었다. 용존산소량 증가로 저압증기발생기 연결배관의 내면 산화피막이 유동가속부식에 취약한 마그네타이트 조직에서 저항성이 강한 헤마타이트 조직으로 전환됨을 예상할 수 있었으며 그 효과로 유동가속부식에 의한 부식 생성물인 철분함유량이 18.5 ppb에서 5~7 ppb로 감소되는 효과를 확인하였다. 따라서 하이dra이진 차단 수처리가 저압증기발생기 연결배관의 유동가속부식 저감에 효과가 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. Charles E. Rossi, 1987, Thinning of Pipe Walls in Nuclear Power Plants, Bulletin 87-01, pp.1-3.
2. 미즈노다카유키, 2007, 보일러 급수처리의 최신동향, 화력원자력발전, pp.1-6.
3. KEPIC 정책위원회, 2012, GWD HRSG 수질관리, 대한전기협회, p.64.
4. R.B Dooley, 2002, Cycle Chemistry Guidelines for Fossil Plants: All-Volatile Treatment revision 1 1004187, EPRI, pp.2-8.