

수냉식변압기 냉각튜브의 부식특성 평가에 관한 연구

정 년 호[†]·민 병 연·박 현 주

한국전력공사 전력연구원, 305-760 대전광역시 유성구 문지로 65
(2010년 8월 23일 접수, 2010년 10월 28일 수정, 2010년 10월 28일 채택)

A Study on Evaluation of Corrosion Properties in cooling tube of water cooling transformers

Nyeon-Ho Jeong[†], Byung-Yeon Min, and Hyun-Joo Park

KEPCO Research Institute, Engineering Center, E&C Team, 65 Munji-Ro, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-760, Korea
(Received August 23, 2010; Revised October 28, 2010; Accepted October 28, 2010)

Most of the thirteen substations in operation in the metropolitan area were installed around the year 2000, and since water cooling methods are used to directly withdraw heat from transformer oils, a stable supply of electric power is required through optimal maintenance of facilities. The water cooling tower installed outdoors, which uses the water supply as sprinkler water, experiences the most problems. Since more than 90% of the cooling water is reused, the dissolved composition in the water becomes concentrated due to long operating hours, and impurities dissolve in the water due to air flowing in from the outside, forming hard scales on the outer surface of the cooling tube, and in extreme cases, reacting with the tube material composition, leading to corrosion. As a result, not only is cooling efficiency lowered, but in extreme cases the cooling tube must be replaced. In this study, the characteristics and composition of the scales formed on the cooling tube were analyzed and corrosion characteristics of material types were identified in order to find an efficient maintenance method for cooling tubes. In addition, the degree of dissolution of various chemicals were investigated during the removal of scales that have been formed.

Keywords : cooling water, scales, tube, dissolution, composition

1. 서 론

수도권에서 운전중인 13개 변전소중 대부분이 2000년도 전·후에서 설치되었으며, 변압기 절연유의 열을 직접적으로 회수하기 위해 냉각을 수냉각 방식으로 취하고 있어 설비의 최적관리를 통한 안정적 전력공급이 절대적으로 요구되고 있다. 특히 문제가 되고 있는 설비는 옥외에 설치되어 있는 냉각탑으로 살수용수로 상수도를 사용하고 있는데 냉각수의 90%이상을 재사용함으로써 수중의 용존 물질들이 장시간 운전으로 인해 농축되고, 외부의 공기유입으로 불순물이 용해되어 냉각튜브의 외면에 단단한 스케일을 형성하고 심하면 관재질 성분과 반응하여 부식을 일으키게 된다. 이로 인하여 냉각효율의 감소는 물론 심하면 냉각관을 교체해야 하는 상황에 이르게 되므로 냉각튜브의 효율적 관리방안을 모색할 필요가 있다고 판단된다. 또한 동합금강을 냉각관으로 사용하고 있는 곳도 있었는데 이들 동관은 우수한 내식성, 가공의 용이성, 열전도성, 경제성 등의 장점으로

건축설비와 가정용 및 산업용 급수·급탕관 등의 용도로 많이 사용되어 오고 있다.¹⁾

본 연구에서는 수도권 2개 지역에서 수냉각 방식으로 사용되고 있는 냉각튜브에 생성된 스케일의 특성과 성분을 분석하고, 재질의 종류에 대한 부식특성을 분석 평가 하였다. 또한 이렇게 생성된 스케일 제거를 위해 여러 가지 약품을 이용하여 용해정도를 평가하였다.

따라서 냉각계통에서 가장 큰 문제인 스케일과 부식 발생 현상을 사전에 예측하여 조치를 취함으로써 안정적으로 냉각설비를 운전하고, 동관의 내식성을 개선할 수 있는 방법을 확립하고자 하였다.

2. 실험방법

본 실험에 이용된 시편은 변전소 냉각탑내 냉각관으로 사용하고 있는 SD지역(이하 탄소강) 과 SSM 지역(이하 동합금강)의 2 종류의 튜브를 발취하여 가로와 크기가 7 cm, 세로의 크기가 5 cm로 부식실험을 하기에 적당한 크기로 준비하였다. 부식실험은 재질 부식을 일으키지 않으면서 생

[†] Corresponding author: nhjeong@kepri.re.kr

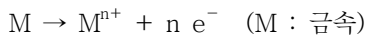
성된 스케일의 제거가 용이한 세정제를 선택하기 위해 유기 산 세정액을 이용하여 용해실험을 하였으며, 대략 7시간 침적 시킨 후 제거된 스케일양을 확인하였다. 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 그리고 튜브에 형성되어있는 스케일의 화학성분 분석을 위해 시편에 생성된 스케일을 물리적 방법을 이용 스케일부분만 분취하여 준비하였다. 준비된 시료는 유지분이나 기타 불순물을 제거하기 위해 알코올로 세척하고 건조기에서 건조 (105 ± 5 °C, 2시간) 하여 Desiccator에서 방냉한 후 일정량을 취한 다음 왕수 (염산과 질산의 혼합)로 완전히 용해하여 일정용액으로 만들어서 유도결합 플라즈마 발광분광기 (ICP-OES, Perkin-Elmer Co., Optima-4300DV)로 검정곡선법에 의하여 각 성분 원소를 정량하였다. 또한 결정구조는 X-선 회절분석기 (XRD, Rigaku D/max-2200)를 이용하였으며, 표면의 형태 및 성분은 주사전자현미경 (SEM, JEOL JSM-6400)과 분광분석기 (EDS, Oxford INCA)를 이용하였다. 스케일의 용해정도 실험은 여러 가지 약품의 농도변화에 따른 스케일의 용해와 다른 첨가제의 영향에 대해 고찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

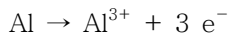
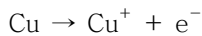
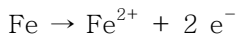
수냉각 방식에 사용되고 있는 냉각튜브에 생성된 스케일의 특성을 평가하기 위해서는 우선 재질의 종류에 대한 부식의 형성과정이 밝혀져야 한다. 그 과정은 다음과 같이 설명될 수 있다.

물은 가장 일반적인 열전달 유체중의 하나로서 이용되고 있어 부식과 부착물 관련 대부분의 장애들이 물과 연관되어 있다. 화학적으로 순수한 물은 H₂O로 표현되지만 용존기체 (산소, 이산화탄소, 암모니아, 염소), 용존염류 (칼슘, 마그네슘, 염소이온, 황산이온, 중탄산이온), 부유물질 등으로 인하여 순수한 물의 특성이 변화된다.^{2)~3)}

물과 금속면 사이에 부식반응이 일어나기 위해서는 금속면내에 전위차가 발생되어야 하며, 전위가 낮은 부위에서 높은 부위로 전자가 흐르게 된다. 따라서, 물과 접촉되어 있는 금속의 부식반응은 전기화학적 반응으로 볼 수 있다. 부식의 용출 반응은 전위 (환원전극전위)가 낮은 양극에서 발생한다. 금속의 용출과정은 금속이온이 생성되어 용액속으로 녹는 과정이다. 부식발생시 양극에서 일어나는 양극반응은 보통 다음식으로 표현된다.^{4)~6)}

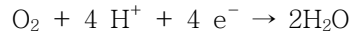


일반적으로 사용하는 열전달 금속재료의 산화반응식은 다음과 같다.

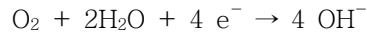


금속으로부터 방출된 전자들은 금속면을 통해 전위가 높은

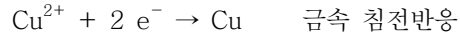
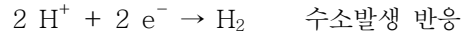
부위로 이동되어 수중의 다른 이온들이나 산소를 환원시키는 데 소모된다. 금속면의 음극부위에서 발생하는 환원 반응의 대표적인 예는 다음과 같다.



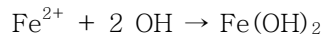
산용액중에서 산소의 환원반응



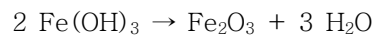
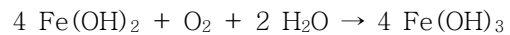
중성, 알칼리성 용액중 산소 환원반응



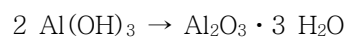
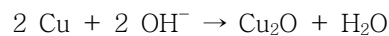
양극과 음극반응 사이의 상호작용으로 금속표면에 고체상의 부식생성물이 발생된다. 예를 들면 철금속의 부식으로부터 생성된 제1철이온(Fe²⁺)은 수중에 존재하는 용존산소의 환원반응에 의해 생성된 수산이온(OH⁻)과 반응하여 수산화침전물이 생성된다.



이때 발생된 수산화 제1철[Fe(OH)₂]은 더욱 산화되어 불안정한 수산화 제2철[Fe(OH)₃]로 전환되며 보통 붉은 녹이라고 하는 산화제2철[Fe₂O₃]의 수화물 형태로 변화된다.



녹은 양극자리에서 발생하여 결절(Tubercles)로 알려진 산화물층을 형성한다. 이러한 산화물층 아래에서는 국부부식이 계속해서 진행된다. 그러나, 모든 부식생성물이 치명적이지는 않고 구리와 알루미늄 표면에서는 부식반응에 의해 보호성 산화피막(산화제1구리 Cu₂O, 산화알루미늄 Al₂O₃)이 형성된다.



이러한 막들이 일단 형성되면 부식진행을 억제한다.

3.1 ICP 분석결과

냉각탑내 냉각튜브 스케일의 성장 특성 연구를 위해서 냉각튜브 스케일의 화학적 성분조성을 확인하였다. Table 1은 ICP-OES를 이용하여 스케일의 화학적 성분을 분석한 결과이다. 탄소강의 튜브 내면 스케일은 관 재질이 부식된 것으로 판단되는 Fe 성분이 대부분 이었으며, 외면 스케일의 조성은 주성분이 Ca성분 이었고 튜브 재질성분인 Zn과 대기중에서 혼입된 Si 성분이 다소 포함되어 있었다. 또한 동합금강의 내면 스케일은 부착량이 많지 않아 분석하지 않았으며, 외면 스케일은 대부분이 Ca성분 이었고 대기중에서 혼입된 Si 성분이 다소 포함되어 있었다.

3.2 결정구조 분석결과

Table 2는 XRD를 이용하여 스케일의 결정구조 성분을

Table 1. Chemical compositions of specimens in SD and SSM Area

		튜브 내면 스케일(SD)	튜브 외면 스케일(SD)	튜브 외면 스케일(SSM)
1	Si as SiO ₂ Wt%	0.35	5.08	3.84
2	Al as Al ₂ O ₃ "	0.0	0.99	0.51
3	Na as Na ₂ O "	0.0	0.21	0.26
4	Ca as CaO "	0.62	69.64	73.09
5	Cu as CuO "	0.91	0.0	0.12
6	Mg as MgO "	0.0	0.96	1.76
7	Fe as Fe ₃ O ₄ "	96.95	1.87	0.87
8	Zn as ZnO "	0.0	3.29	0.68
9	P as P ₂ O ₅ "	0.24	0.0	0.27
10	V as V ₂ O ₅ "	0.0	0.09	0.05
11	Ti as TiO ₂ "	0.0	0.23	0.12
12	Pb as PbO ₂ "	0.0	0.06	0.03
13	S as SO ₃ "	0.03	1.14	1.76
14	탄 소 "	0.91	16.43	16.64

Table 2. XRD results of specimens in SD and SSM Area

sample	crystallographic structures from XRD
SD Area 내면 Scale(분말)	Fe Fe ₂ O ₄ (Magnetite, syn)
SD Area 외면 Scale(분말)	CaCO ₃ (Calcite, syn)
SSM Area 외면 Scale(분말)	CaCO ₃ (Calcite, syn)
SD Area 외면층 (고체)	CaCO ₃ (Calcium Carbonate)
SD Area 외면중간층(고체)	CaCO ₃ (Calcium Carbonate)
SSM Area 외면층	CaCO ₃ (Calcium Carbonate)
SSM Area 외면중간층	(Ca · Mg) CO ₃ (Calcite, Magnesian)
SSM Area 외면내층	(Ca · Mg) CO ₃ (Calcite, Magnesian)

분석한 결과이다.^{7)~8)} 그 결과 탄소강의 내면 스케일 형태는 주성분인 철산화물이 Fe₃O₄ (Magnetite)였으며, 외면 겉층과 중간층의 스케일 형태는 CaCO₃ (Calcite)와 CaCO₃ (calcium Carbonate)로 둘다 공히 탄산칼슘의 분자구조를 가지고 있었다. 동합금강 튜브의 외면 겉층의 스케일 형태는 탄소강과 같은 성분으로 CaCO₃ (Calcite)와 CaCO₃ (calcium Carbonate) 이었으나, 중간층과 내층 스케일 형태는 (Ca · Mg)CO₃ (Calcite, Magnesian)로 Ca와 Mg의 혼합구조로 되어 있었다.

탄산칼슘 (CaCO₃)의 결정구조는 아탈렉시형 과 방해석 (Calcite)형 2종류가 있는데 냉각튜브 외면에 형성된 스케일은 방해석 (Calcite)형으로 6방정계이며 물 100 g 에 대한 용해도는 1.4 mg (25 °C) 으로 물에는 녹기어렵지만, 이산화탄소를 포함한 물에는 탄화수소와 칼슘 을 만들어 녹

는다. 산과 반응시키면 이산화탄소를 방출하여 칼슘염을 만든다.

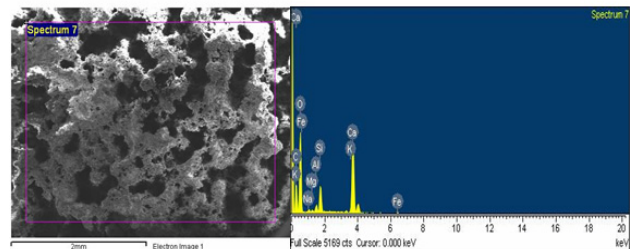
2개 지역에서 발취한 튜브의 외면 스케일은 매우 단단하게 생성되어 이를 제거하기 위해서는 화학세정제 (산 용해제)를 이용한 방법으로 세정제를 살수용수와 적정량을 혼합하여 재순환 시키면서 튜브에 연속적으로 분사시켜 제거하는 방안이 효과가 있는 것으로 실험결과 알 수 있었다.

3.3 표면 분석결과

SEM과 EDS로 스케일의 표면을 분석한 결과는 Fig. 1-4에 나타내었다.^{9)~11)} 탄소강과 동관의 외면 스케일은 입자가 크고 불규칙하게 형성되어 있었고, 탄소강과 동관의 외면 중간층과 내층 스케일은 입자가 매우 적었으며 피막이 고르게 분포되어 있음이 관찰되었다.

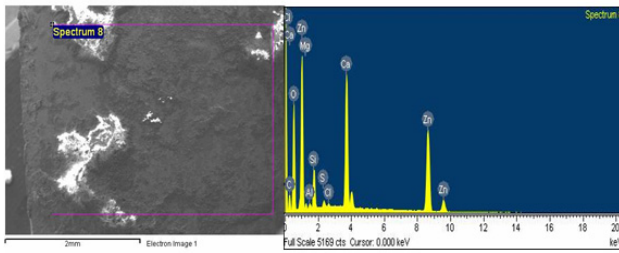
Fig. 1-3은 탄소강의 표면 형상 및 성분을 분석한 결과이다. Fig. 1은 튜브 외면에 발생된 Scale 인데, 그 결과를 보면 Scale의 주성분이 Ca, O, C 가 대부분 포함하고 있어 화합물의 형태는 CaCO₃ 임을 알 수 있었다. Fig. 2는 튜브 외면의 중간층에 발생된 Scale 인데, 그 결과를 보면 Scale의 주성분이 Zn, Ca, O, C 로 Zn 함량이 높은 것은 튜브 본체에 아연 (Zn) 도금을 하였는데, 그 성분이 용출되어 축적된 것으로 보여 지며 실제의 화합물은 CaCO₃ 임을 알 수 있었다. Fig. 3은 튜브 외면의 내층에 발생된 Scale 인데, 주성분이 Zn, Ca, O, C 로 Zn 함량이 높은 것은 튜브 본체에 아연(Zn)이 용출되어 축적된 것으로 보여 지는데 Scale의 두께에 따라 가까울수록 아연의 함량은 높아짐을 알 수 있었다.

주 화합물의 형태는 튜브 외면의 중간층에 발생된 Scale (Fig. 2)과 같은 성분인 CaCO₃ 임을 알 수 있었으며 내



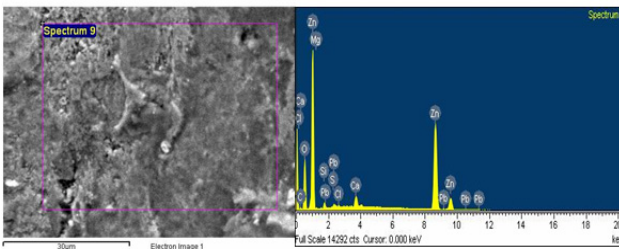
Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	21.59	29.82	Si	3.30	1.95
O	59.00	61.18	K	0.27	0.11
Na	0.56	0.40	Ca	13.76	5.70
Mg	0.30	0.20	Fe	0.36	0.11
Al	0.86	0.53	Total	100.00	

Fig. 1. SEM Image and EDX spectrum of outer layer scale in SD.



Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	8.12	17.99	S	0.36	0.30
O	30.86	51.34	Cl	0.27	0.20
Mg	0.78	0.85	Ca	11.78	7.83
Al	0.45	0.44	Zn	44.16	17.98
Si	3.23	3.06	Total	100.00	

Fig. 2. SEM Image and EDX spectrum of outer middle layer scale in SD.

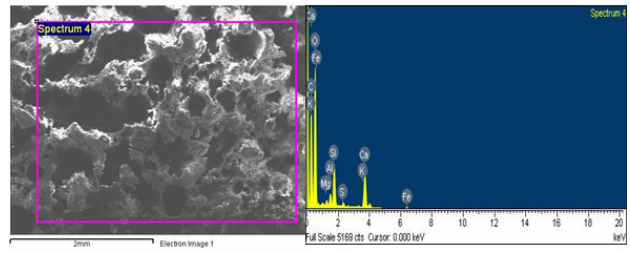


Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	1.67	5.46	Cl	0.20	0.23
O	18.21	44.70	Ca	1.58	1.55
Mg	0.44	0.71	Zn	75.95	45.62
Si	0.97	1.35	Pb	0.78	0.15
S	0.19	0.24	Total	100.00	

Fig. 3. SEM Image and EDX spectrum of inner layer of outer scale in SD.

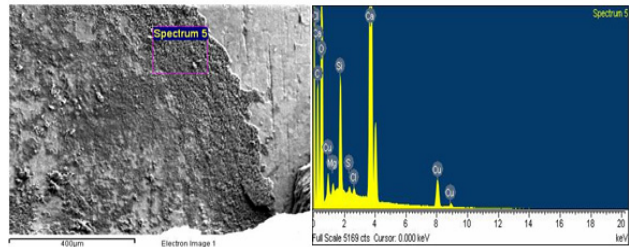
외면 모두가 스케일이 많이 형성되고 부식이 빠르게 진행되어 편환이 발생되었다.

Fig. 4-6은 동관의 표면 형상 및 성분을 분석한 결과이다. Fig. 4는 튜브 외면에 발생된 Scale 인데, 주성분이 Ca, O, C 가 대부분이며 화합물의 형태는 CaCO₃ 임을 알 수 있었고, Fig. 5는 튜브 외면의 중간층에 발생된 Scale 인데, 주성분이 Ca, O, C, Cu 로 Cu 성분이 검출된 것은 튜브 성분인 동이 용출되어 축적된 것으로 보여지며, 실제의 화합물은 CaCO₃ 임을 알 수 있었다. Fig. 6은 외면의 내층에 발생된 Scale 인데, 주성분이 Cu, Ca, O, C, Mg, Si 로 Cu 함량이 높은 것은 튜브 재질인 동이 용출되어 축적된 것으로 보여



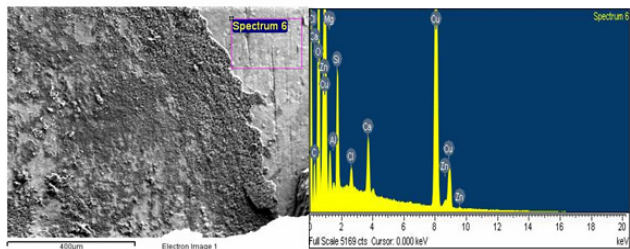
Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	37.15	45.89	S	0.29	0.13
O	54.05	50.12	K	0.12	0.05
Mg	0.51	0.31	Ca	3.84	1.42
Al	0.80	0.44	Fe	0.26	0.07
Si	2.98	1.57	Total	100.00	

Fig. 4. SEM Image and EDX spectrum of outer tube scale in SSM.



Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	14.59	22.80	Cl	0.20	0.10
O	53.02	62.20	Ca	23.42	10.97
Mg	0.38	0.29	Cu	5.25	1.55
Si	2.98	1.99			
S	0.16	0.10	Total	100.00	

Fig. 5. SEM Image and EDX spectrum of outer middle layer scale in SSM.



Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	8.80	20.32	Cl	0.72	0.56
O	27.11	46.97	Ca	1.91	1.32
Mg	2.31	2.63	Cu	53.37	23.29
Al	0.32	0.33	Zn	1.43	0.61
Si	4.03	3.97	Total	100.00	

Fig. 6. SEM Image and EDX spectrum of inner layer of outer scale in SSM.

지며, Scale의 두께에 따라 본체에 가까울수록 구리의 함량은 높아짐을 알 수 있으며, Si는 대기중의 함유된 모래가 퇴적되어 기인한 것이고 주화합물은 형태는 (Ca · Mg) CO₃임을 알 수 있었다.

따라서, 동관의 경우 내면은 냉각수에 의한 부식영향은 미약하였으나 외면 스케일은 살수용수를 직각으로 접촉하는 부위에 집중적으로 많이 형성되었고 스케일 형태가 두껍고 단단하게 고착된 상태로 이와 같은 경우 관 내면에 흐르는 냉각수의 냉각효과를 저하시키기 때문에 화학세정제로 제거할 필요가 있었다.

3.4 스케일 부착량 분석결과

Table 3은 튜브 스케일의 부착량을 분석한 결과이다. SSM 튜브는 재질이 동관으로 내면의 스케일 부착량은 평균 3.62 mg/cm²로 아직은 매우 낮은 수치라 할 수 있어 냉각수의 의한 부식 영향은 미약한 상태이나, 외면에 형성된 스케일은 평균 57.80 mg/cm²로써 화학세정이 필요한 수치이다. 그러나 외면에 생성된 스케일은 내면 스케일과는 다르게 원 재질에 손상을 주기보다는 관 내면에 흐르는 냉각수의 냉각효과를 저하시키기 때문에 냉각기능을 떨어뜨리는 결과를 초래하므로 화학세정 또는 다른 물리적 방법으로 제거해야 할 필요가 있다. 그러나 탄소강관 튜브는 내·외면 모두가 스케일이 많이 형성되었을 뿐더러 부식이 많이 진행되어 튜브가 얇아져 핀홀이 생성되어 계속 사용은 냉각수의 Leak는 물론 더 진행되면 과열될 우려가 있으므로 빠른 시기에 다른 재질(동관이나 SUS관)의 튜브로 교체하여야 하겠다.

Fig. 7은 SD와 SSM의 튜브 내·외면에 발생된 Scale의 광학이미지 인데, 탄소강관 외면에 생성된 스케일은 거칠면서 단단하게 고착 되어 있었으며 운전기간이 오래 경과되면서 부착량도 많았다. 따라서 냉각용 살수에 의한 열교환 능력도 상당히 저하시켰을 것으로 보여 지며, 튜브 내면에 생성된 스케일은 냉각순환수에 의한 튜브 재질의 산화로 심하게 부식되어 탈리 현상을 초래하고 있었으며, 이로 인해 튜브의 두께가 얇아져 핀홀이 생기기 전 상태까지 와있어 화학세정에 의한 스케일 제거는 불가능한 상태이므로 동관이나 SUS관으로 교체 하여야 함을 알 수 있었다. 동합금관의 외

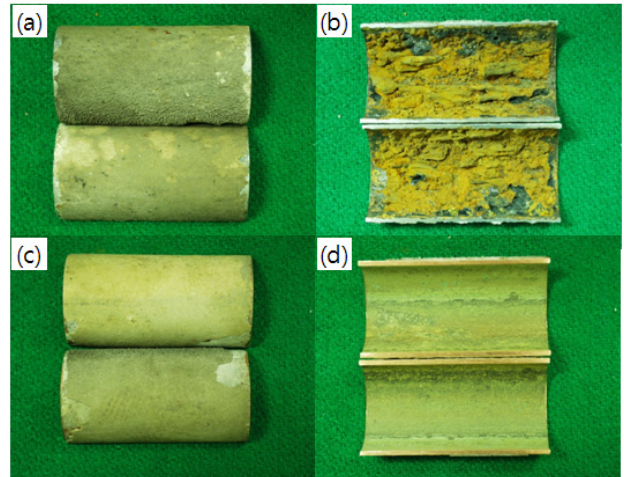


Fig. 7. Optical Image of outer/inner tube scale in SD and SSM. a) outer side in SD b) inner side in SD c) outer side in SSM d) inner side in SSM

면은 냉각용 살수에 의한 스케일이 서서히 생성되기 시작하였는데 살수를 직각으로 접촉하는 부위에 집중적으로 많이 형성되고 있음을 볼 수 있었다. 스케일 형태는 얇고 단단하게 고착되어 인위적으로 제거시 떨어져 나갈 정도이었는데 현 상태에서 계속 사용시 더 두껍게 형성되면 약품으로 제거하기에도 힘든 상태에 도달하게 된다. 따라서 세정제로 제거할 필요가 있다고 판단되었다.

3.5 시편의 부식시험결과

Fig. 8은 재질 부식을 일으키지 않으면서 스케일 제거가 용이한 세정제를 선택하기 위한 실험이다.

본 연구에서 사용한 부식시험 시편은 외면 스케일 부착량의 평균값이 75.29 mg/cm² 인 동관에 대하여 재질 부식을 일으키지 않으면서 스케일(주성분 : CaCO₃) 제거가 용이한 세정제를 선택하기 위해 3가지 화학세정제로 침적법에 의한 용해시험을 실시하였다(Table 4 참조). 유기산을 이용한 용해 및 부식시험결과를 요약하면, 3% Sulfamic acid에 0.3% 부식억제제를 첨가한 세정액에 7시간 침적시 제거된 스케일량은 70.85 mg/cm²로 시간당 제거된 양은 10.12 mg/cm² 이었으며, 1.5% Formic acid와 1.5% Citric acid 혼합 용액에 0.3% 부식억제제를 첨가한 세정액에 5시간 30분 침적시 제거된 스케일량은 70.85 mg/cm²로 시간당 제거된 양은 12.88 mg/cm² 이었고, 1.5% Glycolic acid와 1.5% Citric acid 혼합 용액에 0.3% 부식억제제를 첨가한 세정액에 7시간 침적시 제거된 스케일량은 15.89 mg/cm²로 시간당 제거된 양은 2.27 mg/cm² 이었다.

본 연구에서의 시험결과와 위의 분석결과를 정리하면, 화학세정제에 의한 용해시험결과 1.5% Formic acid와 1.5% Citric acid 혼합 용액에 0.3% Inhibitor를 첨가한 세정제가

Table 3. Deposits of specimens in Cooling Tower

튜브 시료명	위 치	부 착 량 (mg/cm ²)		
		180° 좌	180° 우	평 균
SSM Area (동관)	내 면	3.72	3.52	3.62
	외 면	59.28	56.23	57.80
SD Area (탄소강관)	내 면	183.64	186.04	184.84
	외 면	112.18	102.18	107.18

Table 4. Solubility test results of Chemical cleaning agents

실험조건	1	2	3
시약	3% Sulfamic acid 0.3% Inhibitor	1.5% Formic acid 1.5% Citric Acid 0.3% Inhibitor	1.5% Glycolic acid 1.5% Citric Acid 0.3% Inhibitor
침적시간	7시간	5시간 30분	7시간
온도	30℃	30℃	30℃
용액량	300mL	300mL	300mL
튜브시편	SSM Area	SSM Area	SSM Area
탈리된양(mg/cm ²)	70.85	70.85	15.89
시간당 탈리된양(mg/cm ² ·hr)	10.12	12.88	2.27
부식감량(mg/cm ² ·hr)	0.02	0.01	0.01
CaCO ₃ 용해시간	2시간이내	2시간이내	2시간이내
pH 변화	0.62 → 0.68	1.76 → 2.12	1.83 → 2.22

참고 : 2번 용액에 담긴 시편의 경우 5시간 30분정도에 탈리가 완료됨
외면 스케일 부착량의 평균값은 75.29 mg/cm²임.

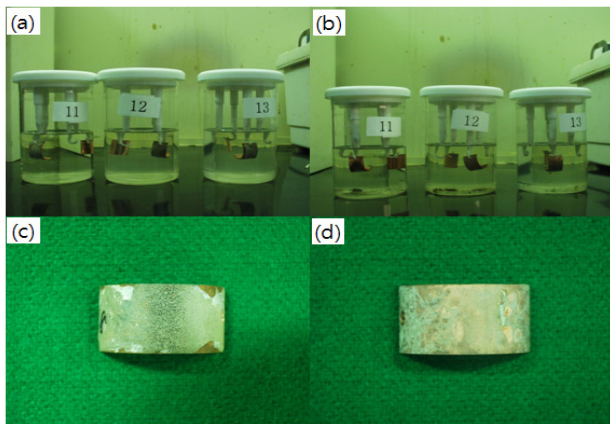


Fig. 8. Optical Image of outer tube scale in SSM (a)(c) before test, (b)(d) After test.

부식감량도 적고, 시간당 제거된 양도 많았을 뿐더러 세정후 pH도 높아 폐수처리에도 양호한 결과를 얻을 수 있었음이 무엇보다도 중요하였으며 빠른 시간에 효과를 볼 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 수냉각 방식에 사용되고 있는 냉각튜브에 생성된 스케일의 특성과 성분을 분석하고, 재료의 종류에 대한 부식특성을 분석 평가 하였다. 또한 이렇게 생성된 스케일 제거를 위해 여러 가지 약품을 이용하여 용해정도를 평가하였다.

본 연구에서 얻어진 주요결과를 정리하면, 서울지역의 변

전소들은 지역특성상 변압기 냉각시스템이 지하에 설치되어 있어 냉각순환수를 공급하는 지하저수조의 수질관리 및 옥외 냉각탑 살수용수의 수질관리를 철저히 하여 스케일 생성 및 부식방지를 해결해야 한다는 것을 알 수 있었다.

따라서, 냉각탑은 밀폐형으로 교체하는 것이 효과적이고, 냉각수로 상수도를 사용하여하며, 냉각수 배관 및 냉각튜브 재질이 강관인 경우 내식성 재료인 구리합금 또는 스테인레스로 교체하고, 냉각튜브 내·외면의 생성된 스케일은 화학세정을 통해 제거하여 부식에 의한 손상을 최대한 방지하여야 하겠다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사 "전력산업 기술지원사업"의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. S. K. Min, S. C. Na, and W. S. Hwang, *Corros. Sci. Tech.*, **8**, 232 (2009).
2. Y. H. Lee, H. R. Lee, U. S. Hwang, and K. G. Kim., *Principles and Prevention of Corrosion*, DongHwa Technology publishing Co. (1999)
3. J. S. Moon, H. R. Song, G. K. Park, and D. W. Kang, *Optimization of Chemical Treatment Program in Cooling Tower Water System and Plume Dispersion Modeling*, KEPRI (1997)
4. J. W. McCoy, *The Chemical Treatment of Cooling Water*, 2nd ed., Chemical Publishing Co., N.Y. (1983).
5. B. P. Boffardi. Ph.D., *Fundamentals of Cooling Water*

- Treatment*, Calgon Corp., p. 5.
6. M. H. Harvey, D. P. Robert, *The Nalco Guide to Cooling Water System Failure Analysis*, McGraw-Hill, Inc. (1993).
 7. *Handbook of X-ray Diffraction Spectrometry* Rigaku Corp. (1998).
 8. V. E. Buhrke, R. Jenkins, D. K. Smith, *A Practical Guide for the Preparation of Specimens for XRF and XRD Analysis*, Wiley (1998).
 9. Rene E. Van Grieken and Andrzej A, *Handbook of X-ray Spectrometry: 2nd Ed.*, Marcel Dekker Inc., NY (2002).
 10. R. Jenkins, J. L. De Vries, *Practical X-ray Spectrometry*, Springer-Verlag (1973).
 11. J. Goldstein, D. E. Newbury, D. C. Joy, and C. E. Lyman, *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, Springer (2003)