

한국부식학회지
Journal of the Corrosion Science Society of Korea
Vol. 11 No.3, Sept. 1981

<기술해설>

열교환기에 있어서 냉각수에 의한 장해경향에 대해서

이재익* 서근학** 성봉훈***

*한국비료공업 주식회사

**부산대학교 대학원

***울산공과대학 대학원

Some Troubles by Cooling Water in Heat Exchanger

J. Y. Lee* G. H. Suh** B. H. Sung***

*Korea. Fertilizer Industry Ltd.

**Busan National Univ. Graduate.

***Ulsan Institute of Technology Graduate.

1. 머리말

근년 우리나라는 국가경제의 눈부신 발전과 아울러 국민생활수준의 향상 및 각종 석유화학공업과 제철, 제강공업과 중화학공업의 급격한 발달로 인하여 제반 용수 사용량이 급증되고 있는 실정이나, 아직까지 양질의 풍부한 수자원을 보유하고 있는 우리나라에서의 수자원 이용율은 외국에 비해 크게 뒤떨어지는, 강우총량의 16% 정도인 187억 톤으로 풍부한 수자원을 최대로 활용하지 못하고 있는 실정므로 제반 용수관리상에 문제점을 갖고 있다.

우리나라에서 사용하고 있는 용수중 공업용수로 이용되고 있는 수량은 불과 15% 정도로서 공업용수의 50~60% 이상을 냉각용수로 사용하고 있으며, 이로인하여 각종 용수형 산업에 있어서 비록 정도의 차이는 있으나 냉각수에 의한 여러가지 장해가 일어나고 있다.

따라서 본문에서는 Chromate Phosphate를 냉각수 부식억제제로 사용하고 있는 개방순환식 냉각수계통에서의 냉각수 수질과 열교환기에 부착된 부착물 조성을 분석하여 냉각수 수질에 의한 장해경향에 대하여 검토하였다.

2. 열교환기의 사양과 운전조건

본문에서 장해경향을 검토한 열교환기는 울산시 자

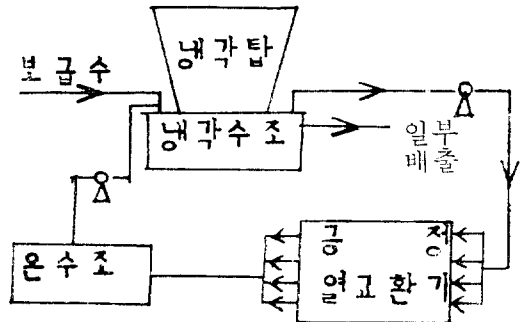


Fig. 1. 개방순환 냉각수 계통도

Table 1. 열교환기의 사양과 조건

장치		"가"		"나"	
형식	수적형 Submerged Bundle Type	수평형 Fixed Tube Sheet Type	수평형 Fixed Tube Sheet Type	수평형 Fixed Tube Sheet Type	수평형 Fixed Tube Sheet Type
부위	Shell	Tube	Shell	Tube	Tube
유체	냉각수	합성가스	공정가스	냉각수	냉각수
온도 (°C)	60	120	60	60	60
압력 (kg/cm ²)	2.8	360	20	4	4
유속 (m/sec)	0.6	—	—	—	1.08
재질	SS-41P	STS42	SM50B	STB35	STB35

체의 공업용수와 낙동강물을 혼합하여 보충수로 사용

하고 있는 개방 순환식 냉각수계통으로서 형식이 서로 다른 두 종류의 열교환기를 택하였다. 일반적으로 개방 순환식 냉각수계통은 그림 1과 같이 1차 사용하여 수온이 상승된 냉각수를 냉각탑에서 냉각수의 잠열을 대기중으로 증발 방출시킨후 다시 냉각수로 순환 사용하는 냉각수계로서 냉각수의 순환사용으로 인하여 냉각수중의 여러가지 용해성분이 농축되므로 실제 여러 가지 장해가 일어나고 있다.

3. 냉각수 수질에 의한 지수의 의미와 부착물 조성의 의미

가. 탄산칼슘의 석출원인과 포화지수

1) 탄산칼슘의 석출원인^{1)~7)}

일반적으로 수중에 녹아있는 여러가지 ion 성분중에서 Scale의 주요인으로서 석출되는 성분은 탄산염과 인산염으로 크게 나눌수 있다.

山本大輔^{1), 8), 9)}는 계방순환식 냉각수계통의 열교환기에 석출되는 탄산칼슘 생성원인과 대책을 규명하기 위하여, Ca(HCO₃)₂ 용액을 사용하여 CaCO₃ 용액중에 있어서 전열면에서의 탄산칼슘 석출경향을 검토한 실험결과에 의하면 용액중에 있어서 탄산칼슘 석출은 칼슘농도 및 중탄산이온 농도가 높고 pH 및 물 온도가 높을 경우에 손쉽게 석출됨을 입증하였다. 다시 말해서 물중에서 중탄산칼슘형태로 존재하고있는 칼슘이온은 순환냉각수 중에 있어서

- i) pH 상승
- ii) 물 온도 상승
- iii) 순환수 농축

등으로 칼슘 함량등이 증가되므로서 손쉽게 석출되며 특히 냉각수의 농축도 상승은 Scale 장해를 손쉽게 일으킨다.

2) 탄산칼슘 포화지수의 의미

Langelier Index 라고도 하는 물의 부식성 정도를 나타내는 지수로서 1912년 Tillmans^{10), 11)}가 물중에서의 탄산칼슘 용해도를 생각하여 물의 부식정도를 최초로 발표한 이후 1936년 Langelier^{10), 12)}가 물중의 알카리농도와 칼슘이온농도 및 탄산칼슘으로 포화되었을 경우의 수소이온농도로서 탄산칼슘포화를 산출하여 실제로 측정된 물의 pH 차이를 탄산칼슘 포화지수라 하였다.

$$(Icaco_3 = pH - pH_s)$$

그 이후 여러학자들의 연구와 실험결과로서 계산방법이 제시되어 현재는 다음과 같은 계산식과 계산도표가 이용되고 있다.

- i) Charless P. Hoover¹³⁾의 계산도표와 Graph

- ii) Sheppard T. Powell¹⁴⁾의 도표
- iii) W. F. Langelier^{10), 12)}의 계산식과 도표
- iv) E. Nordell¹⁵⁾의 계산식
- v) G. N Fair and T. S. Geyer¹⁶⁾의 계산식과 계산

도표

3) 장해경향 판별^{8), 10), 17)}

Icaco₃ = pH - pH_s에서

- i) Icaco₃ < 0 ; 부식성
- ii) Icaco₃ = 0 ; 화학적 평형유지
- iii) Icaco₃ > 0, Scale 성(탄산칼슘석출)이나, 현상에서의 경우에는¹⁷⁾
 - i) Icaco₃ > 2.0 ; Scale 생성(방지제처리)
 - ii) Icaco₃ = -0.5 ; 얽은막 형성
 - iii) Icaco₃ = -0.5 ; 미약한 부식
 - iv) Icaco₃ < -2.0 ; 부식장해(방식제처리)와 같은 기준에 따라 수질관리를 하는 것이 좋다.

나. 인산칼슘 석출원인과 포화지수

1) 인산칼슘의 석출원인^{2), 19), 20)}

순환냉각수의 부식억제제로서 중합인산염을 사용하였을 경우 열교환기등에 의해 물 온도가 상승되므로 부식억제제의 40~50%정도가 가수분해되어 냉각수중에서 인산이온으로 존재하여 칼슘이온과 결합하고 평형상태에 도달하므로서 인산칼슘 Scale을 석출하게 된다.

그림 6은 물중에 있어서 인산이온과 칼슘농도의 pH에 의한 인산칼슘 석출 한계값을 나타낸것으로 B축에 있으면 인산칼슘 석출경향이 있으며 A축에 있으면 석출되지 않음을 나타낸 것이다. 이와같이 중합인산염이 가수분해하여 인산이온으로 되고 냉각수중의 칼슘 농도가 평형상태부근에서 인산칼슘 Scale이 석출된다.

2) 인산칼슘 포화지수의 의미^{2), 19), 20)}

본문에서 사용한 인산칼슘 포화지수 Ica₃(po₄)₂는 Green²⁰⁾이 산출한 결과를 鈴木静夫^{19), 21)}가 간소화한 방법을 이용하였다. 본 방법은 물중의 인산이온, 칼슘농도 및 pH로서 그래프의 온도에 있어서 인산칼슘의 평형치를 구한것으로 도표에서 각각의 계수를 구한후 다음과 같은 공식으로 인산칼슘 포화지수를 구하고 Scale 생성여부를 판단하였다.

$$Ica_3(po_4)_2 = F' - F$$

$$F' = 17.30 + fpH + ft$$

$$F = fca + fpo_4^{-3}$$

- i) Ica₃(po₄)₂ > 0 ; Scale 생성(파포화)
- ii) Ica₃(po₄)₂ < 0 ; 부식진행(불포화)
- iii) Ica₃(po₄)₂ = 0 ; 평형상태

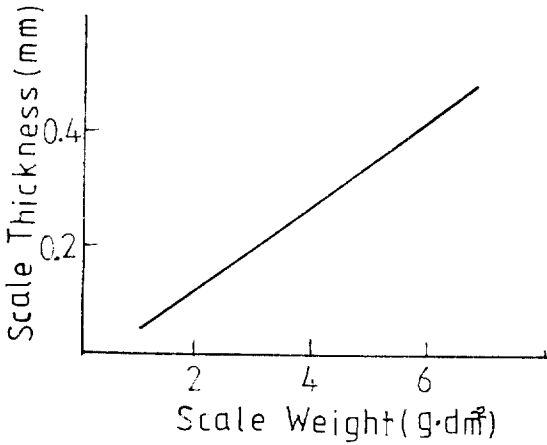


Fig. 2. Scale 부착량과 두께와의 관계^{1), 18)}

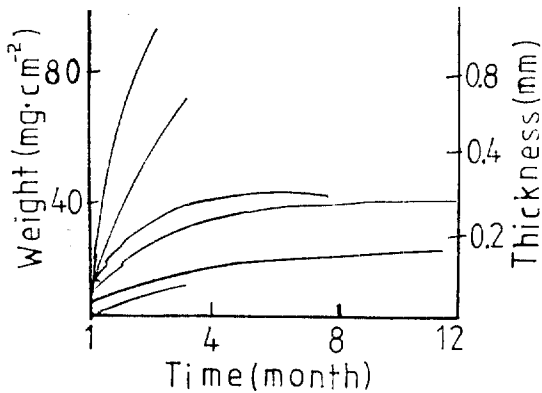


Fig. 3. 시간에 따른 Scale 부착량^{1), 18)}

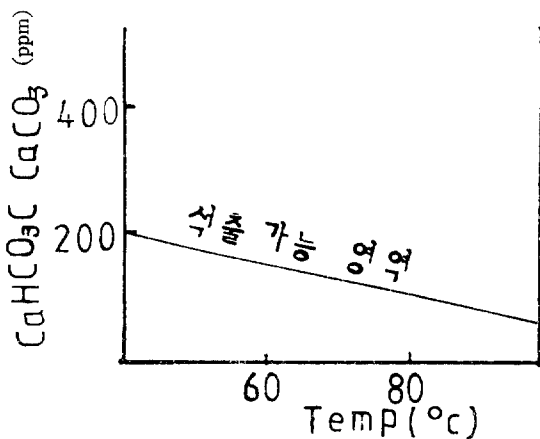


Fig. 4. 중탄산칼슘의 석출과 수온^{3), 4)}

와 같으나 현장에서는 다음과 같은 값으로 판별하는 것이 좋다¹⁷⁾.

i) $Ica_3(po_4)_2 > 4$; Scale 생성 (방지제처리)

Table 2. 부착물 조성과 장해경향^{19), 21), 22)}

단위 : 중량%

조성	합량	장해
Fe ₂ O ₃	30 ↑	부식
강열감량 SO ₂	11.8 ↑ 양성	Slime
CaO P ₂ O ₅ CO ₂	4.5~8.0 ↑ 7.7~11.7 ↑ 양성	Scale

Table 3. 분석조성과 SiO₂ 비에 의한 장해경향^{19), 21), 22)}

鈴木값

	Scale	부식	Slime
CaO/SiO ₂	(2.22) 0.53~6.50	(0.19) 0.08~0.32	(0.22) 0.09~0.45
MgO/SiO ₂	(0.29) 0~0.92	(0.09) 0~0.74	(0.13) 0~0.45
Fe ₂ O ₃ /SiO ₂	(2.20) 1.45~4.25	(11.84) 2.76~17.0	(6.15) 0.31~17.0
P ₂ O ₅ /SiO ₂	(1.53) 1.31~1.79	(0.07) 0~0.19	(0.41) 0~1.74
강열감량/SiO ₂	(2.44) 0.65~6.21	(1.24) 0~2.36	(1.95) 0.24~6.09

()내의 수치는 평균치임

Table 4. 3개 항목에 따른 장해경향^{19), 21), 22)}

鈴木값

항목 \ 장해	Scale	부식	Slime
Scale 성	(46.6) 44.2~49.4	(3.6) 1.1~9.4	(12.5) 1.0~44.2
부식 성	(27.5) 22.6~41.5	(86.5) 73.2~92.7	(59.8) 23.0~96.8
Slime 성	(25.8) 13.5~33.0	(9.9) 0~20.4	(27.7) 1.7~65.0

* ()내의 수치는 평균치

*부식성 ≡ Fe₂O₃

*Scale 성 ≡ CaO + MgO + P₂O₅

*Slime 성 ≡ 강열감량

ii) $Ica_3(po_4)_2 > 0$; 얽은피막생성

iii) $Ica_3(po_4)_2 < 0$; 부식진행 (방지제처리)

다. 열교환기 부착물조성의 의미^{2), 19), 21)}

鈴木가 실시한 여러가지 연구실험한 결과로서 장해 경향을 판정한 방법을 인용하면

1) 분석치의 중량%에 의한 의미^{19), 21), 22)}

개방순환식 냉각수계에 있어서 방지제를 처리하지 않은 경우와 증크롬산염과 중합인산염을 혼합사용하였

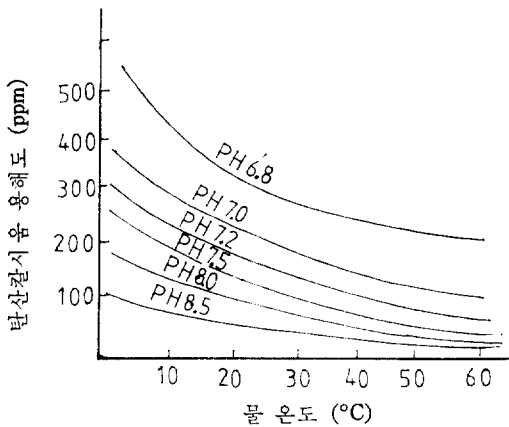


Fig. 5. 탄산칼슘의 PH 및 온도에 따른 용해도¹⁷⁾

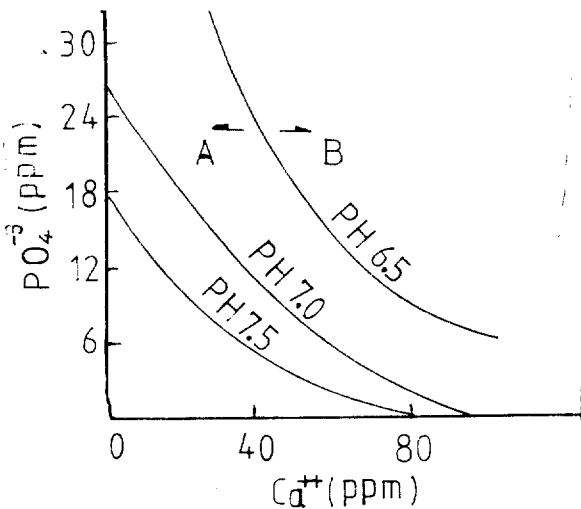


Fig. 6. Ca⁺⁺과 PO₄⁻³ 및 pH의 평형곡선¹⁹⁾
A; 비석출 영역 B; 인산칼슘 침출영역

을 경우 열교환기에 생성된 부착물조성과 장해경향을 살펴보면 <Table. 2>와 같다.

2) 분석조성과 SiO₂와의 비의 의미^{19), 21), 22), 23)}

부착물조성중 대체적으로 수처리의 영향을 거의 받지 않는 SiO₂에 착안하여 <Table. 3>과 같은 기준을 설정 하였다.

일반적으로 부식장해의 경우 Fe₂O₃와의 비가 11.84로 대단히 높은 수치를 나타내고 있으나, 현장에서의 경우 SiO₂와의 비가 5이상이면 일단 부식이 진행되고 있다고 판단하는 것이 좋으며, CaO와의 비는 0.5이하에서는 Scale 장해는 우려할것 없으나 1.0이상일 경우에는 Scale 장해가 진행되고 있다고 생각하여야 한다.

3) 분석조성을 새항목으로 통폐합한후 새항목의 비에 의한 장해판단^{19), 21), 22), 23)}

부착물조성중 각 장해를 일으키는 성분을 통, 폐합한후 배분율을 구하여 각 장해경향을 판단한것으로

- i) Scale 성 ≡ CaO + P₂O₅ + MgO
- ii) 부식성 ≡ Fe₂O₃
- iii) Slime 성 ≡ 강열감량

SiO₂는 수질중에서 높은값을 나타내지 않기 때문에 제외하여 분석조성을 다음과 같이 3가지로 분류하여 <Table. 4>에서와 같이 판정기준을 설정하였다.

- i) Scale 성
- ii) 부식성
- iii) Slime 성

4. 분석결과

가. 보충수와 순환냉각수의 수질

1981. 7. 1~1982. 6. 30까지 1년간의 보충수와 순환냉각수의 연평균 수질은 <Table. 5>와 같다.

연평균 순환냉각수의 온도는 26.7~35.3°C로서 Δt는 8.6°C로 운전되었으며, 기간중 수질의 용해성분에 대한 월별 평균수질은 graph에서와 같이 계절에 따라 4 단계로 구분할수 있으며 일정한 곡선을 이루고 있음을 알수있다.

Table. 5. 연평균수질

1981. 7. 1~1982. 6. 30

	보급수	냉각수	농축비
pH	7.27	6.80	
전도도 (μv/cm ²)	150.3	634.8	
M-알카리도	32.95	13.25	
Ca-경도	28.67	76.20	2.66
전경도	41.66	109.48	2.63
중발잔사	71.9	219.57	2.78
K ⁺	21.6	6.4	2.96
Cl ⁻	13.73	39.38	2.88
SO ₄ ⁼	12.4	57.1	4.60
PO ₄ ⁼	—	3.85	
Na ⁺	6.2	78.33	
T-Fe	0.27	0.20	
S.S.	11.35	16.75	
SiO ₂	5.0	7.0	
C. O. D.	1.9	4.6	

*pH 전도도를 제외한 전항목 단위 : ppm

*분석기간중 산출평균

*시료채취시간 : 1회/일, 08 : 30/일

*시료채취장소 : 보급수 : make up pump 출구

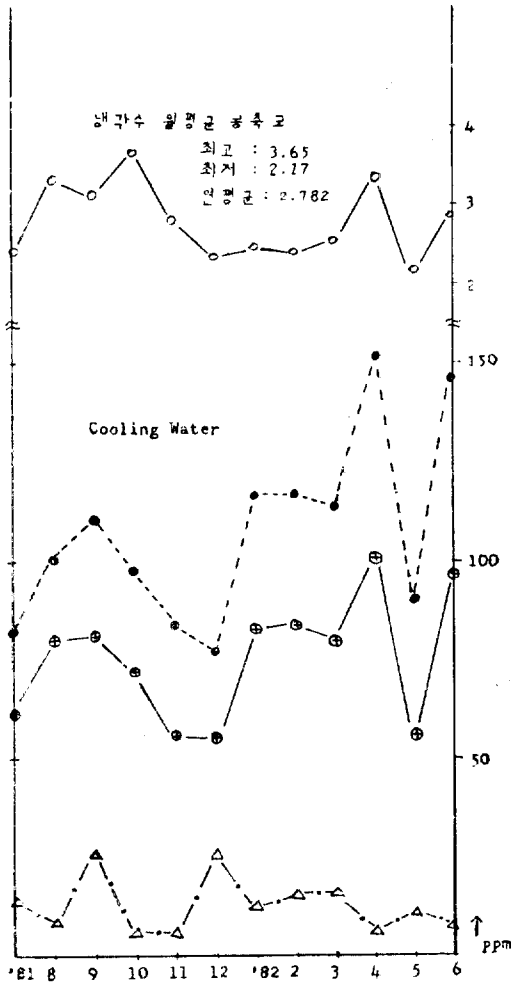
냉각수 : cold Water pump 출구

Table 6. 부착물 조성분석 결과

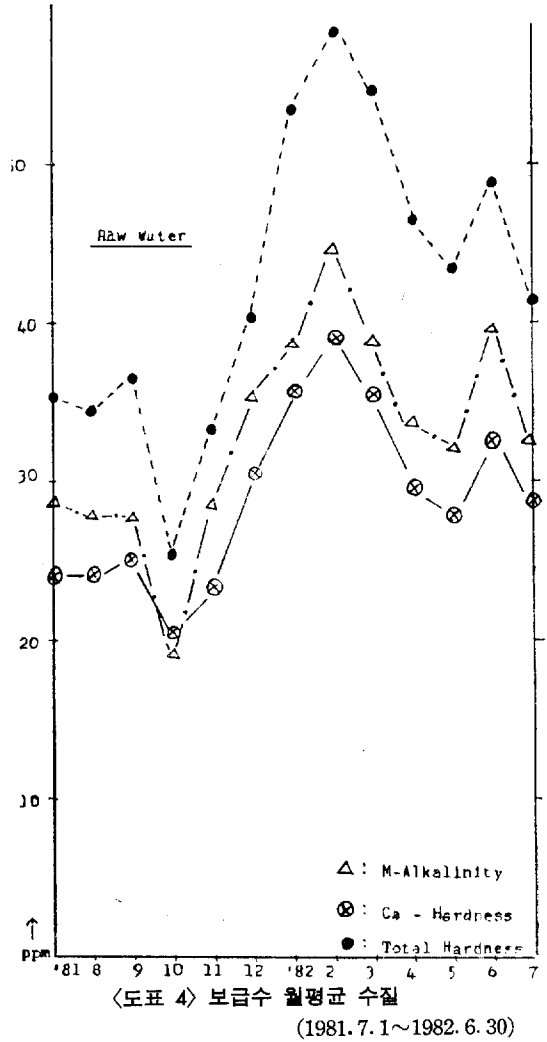
단위 : 중량%

항목	장치		"가"			"나"		
	Baffle Plate	Tube	Shell	Tube Sheet		Chan-enl Cover		
				입구	출구			
외관	연후갈색	흰색	어두운색	검갈색	연갈색	흰색	갈색	
강열감량	36.74	12.08	5.05	14.0	11.69	14.21		
Fe ₂ O ₃	23.07	72.50	89.8	0.06	37.75	0.07		
CaO	2.93	1.10	0.13	4.48	10.05	9.27		
MgO	2.28	0.68	0.42	14.42	26.07	22.81		
P ₂ O ₅	8.66	1.24	0.86	0.46	19.98	0.95		
SiO ₂	1.45	0.92	1.70	1.62	0.87	1.92		
CO ₂	양성	양성	양성	양성	양성	양성		

*순환 냉각수 사용기간 : 1981. 7. 1~1982. 6. 30.



<도표 1> 기간중 냉각수 농도와 농축도



<도표 4> 보급수 월평균 수질

(1981. 7. 1~1982. 6. 30)

나. 열교환기의 부착물조성 분석결과

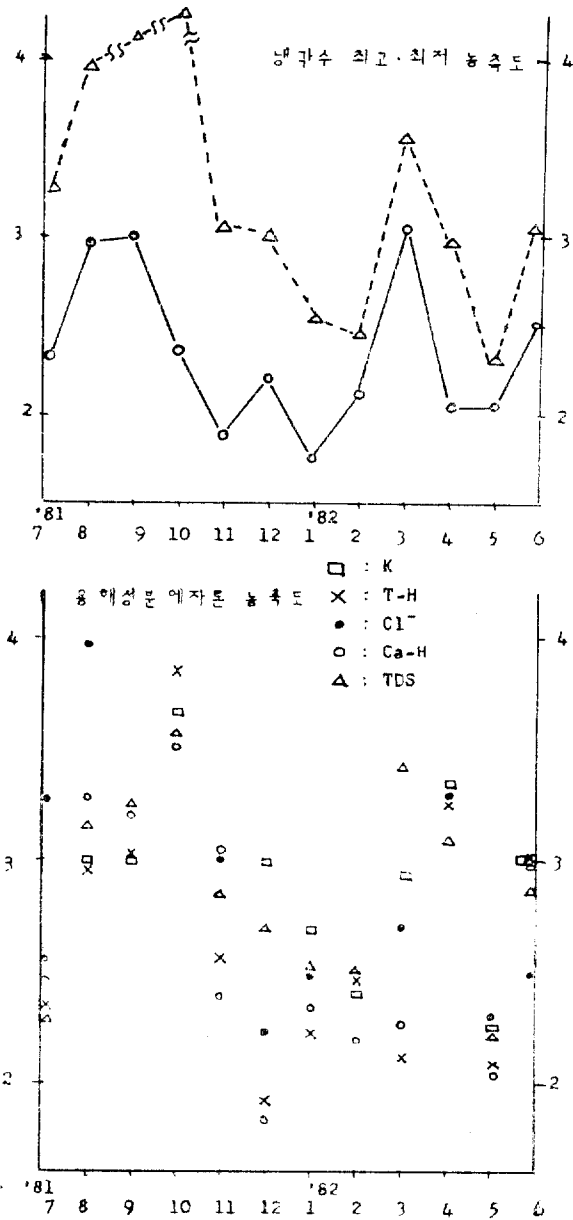
기간중 형식이 서로 다른 열교환기에 있어서 부위별로 시료를 채취하여 조성을 분석한 결과 <Table. 6>과 같다. <Table. 6>에서 나타난바와 같이 부착물 조성을 보면 동일한 수질에 의한 부착물이라 할지라도 수질조건, 온도 및 유속 등이 부착물조성에 미치는 영향에 큰 변화를 주는 조건은 없다고 생각된다.

그러나 실제로는 macro 적으로는 동일한 조건이라고 생각할수 있으나 micro 적으로 열교환기내에 있어서 모든 조건이 다르므로 부착물조성이 서로 다르다고 할수 있는.

5. 고찰

가. 순환냉각수 질과 농축도

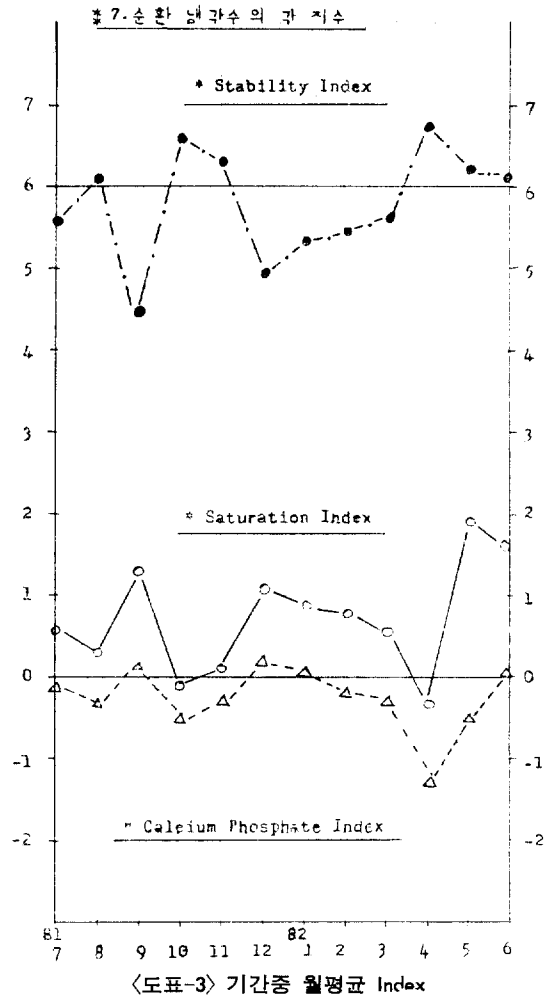
기간중 월평균 냉각수 수질과 농축도를 살펴보면



<도표-2> 용해각성분의 농축도

<도표-1>과 같다.

냉각수의 농축도는 각 공장마다 기준 용해성분이 다르나, 기간중 냉각수에 용해되어 있는 주요성분의 월평균 농축비를 산출하여 Plot 한 결과 <도표-2>에서와 같이 어떠한 용해성분으로든지 농축도를 환산하여도 공장에서의 냉각수농축운전에는 큰 영향이 없으나, Boiler 연도가스의 영향을 받는 황산염은 제외하여야 한다.



<도표-3> 기간중 월평균 Index

본문에서는 각 성분의 월별 평균 농축 비를 산출평균한 값을 그달의 농축도로 하여 기간중 농축도를 관찰한 결과 최고 3.65 최저 2.17 월 평균 2.78로 대체적으로 저농축 운전을 하였다.

나. 냉각수 수질과 각 지수

수질에 의한 각 지수 (Index) 현황을 살펴보면 <도표-3>과 같다.

연 평균 $I_{Ca_3(PO_4)_2}$ 는 -0.45, I_{CaCO_3} 는 0.44 (Fair Geyer 방정식 인용) 및 안정도지수는 5.76으로서 탄산칼슘에 의한 장해면에서는 얽은막을 생성하여 보호피막역할을 하고 있으나, 반면 인산칼슘에 의한 장해면에서는 경미한 부식현상이 일어나고 있음을 알 수 있다.

다. 분석조성의 증량%에 의한 결과

<Table. 6>에서 보는바와 같이 열교환기 "가" 장치의 Tube 측과 Shell 측에서는 Fe_2O_3 가 30%를 월전 상회

Table. 7. 분석조성과 SiO₂ 와의 비

부식억제제 : 크롬산염 중합인산염

항목	鈴木에 의한 값			열교환기 “가”			열교환기 “나”		
	Scale장해	부식장해	Scale장해	Baffle plate	Tube	Shell	Tube sheet		Channel cover
							입 구	출 구	
강열감량 SiO ₂	0.65 ~6.21	0~2.36	0.24 ~6.09	25.3	13.1	2.97	8.6	13.4	7.4
Fe ₂ O ₃ SiO ₂	1.45 ~4.25	2.76 ~17.0	0.31 ~17.0	16.5	78.8	52.82	0.03	43.39	0.04
CaO SiO ₂	0.53 ~6.56	0.08 ~0.32	0.09 ~0.45	2.02	1.19	0.08	2.77	11.55	4.38
MgO SiO ₂	0~0.92	0~0.74	0~0.45	1.57	0.74	0.25	8.9	29.96	11.88
P ₂ O ₅ SiO ₂	1.31 ~1.79	0~0.19	0~1.74	5.97	1.35	0.51	0.28	22.97	0.49

일반적으로

- i) Scale 장해 $\frac{CaO}{SiO_2} > 1.0$ ii) 부식장해 $\frac{Fe_2O_3}{SiO_2} > 5.0$

Table. 8. 3가지 항목간의 비

부식억제제 : 크롬산염 + 중합인산염

	鈴木에 의한 값			열교환기 “가”			열교환기 “나”		
	Scale장해	부식장해	Slime장해	Baffle Plate	Tube	Shell	Tube Sheet		Channel cover
							입 구	출 구	
Scall성	44.2 ~49.4	1.1 ~9.4	1.0 ~44.2	18.83	3.45	1.46	57.93	53.16	69.82
부식성	22.6 ~41.5	73.2 ~92.7	23 ~96.8	31.31	82.76	93.29	5.18	35.76	0.14
Slime성	13.5 ~33.0	0 ~20.4	1.7 ~65.0	49.86	13.79	5.25	41.89	11.08	30.04

*Scale 성 ≡ CaO + MgO + P₂O₅

*부식성 ≡ Fe₂O₃

*Slime ≡ 강열감량

하고 있어 부식이 진행되고 있으며, Baffle plate 측은 강열감량이 36.74%로서 이는 저유속 상태에서 각종부유물이 침적되어 일어난 현상이라 생각된다.

한편 열교환기 “나”의 경우에는 Tube Sheet의 출구측에서 경미한 부식이 일어나고 있으며, 전반적으로 Scale 장해현상이 일어나고 있음을 알 수 있다.

라. 분석조성과와 SiO₂의 비

<Table. 7>에서 보는바와 같이 부식장해는 열교환기 “가”에서는 전반적으로 일어나고 있으나, 열교환기

“나”의 경우에는 Tube Sheet의 출구측이 부식이 일어나고 있고, Scale 장해는 전반적으로 경미한 상태이나 Tube Sheet의 출구측이 비교적 심한 현상을 나타내고 있다.

마. 3가지 항목의 비

<Table. 8>에 보는바와 같이 3가지 항목간의 비율로서 장해경향을 검토한 결과 열교환기 “가”의 경우 Baffle plate 에서는 Slime 장해경향이, Tube와 Shell측에서는 극심한 부식장해가 일어나고 있으며, 열교환기 “나”의

경우에는 전반적으로 장해가 일어나고 있음을 알 수 있다.

6. 끝 맺 음

개방순환식 냉각수 계통에 있어서 냉각수 수질에 의한 부착물조성과 장해경향에 대하여 본 검토 범위내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 열교환기의 부착물조성을 검토할 경우 1 개의 시료 채취로서는 명확한 경향을 알수 없으므로 3~5개소에서 시료를 채취하여 분석결과를 평균한후 장해판단 대상으로 하여야 한다.

나. 동일한 냉각수의 수질이라 할지라도 열교환기에서 일어나고 있는 장해경향은 다르다.

다. 냉각수에 의한 장해는 열교환기의 구조, 설치방법등에 따라 다르며, micro 적으로 큰 차이가 있다.

라. 냉각수의 수질만으로서서는 장해경향을 정확히 판단할수 없다.

마. 냉각수에 의한 장해는 복합적으로 일어난다.

바. 냉각수의 농축도는 외부의 영향을 받지않는 응해성분으로서 산출하여도 큰 영향은 없다.

7. 인용문헌

- 1) 山本大輔, 鈴木隆, 佐藤有信: 防蝕技術, 24, 123 (1975)
- 2) 柏原正純, 岩田稔, 飯田亘, 小林義治: 水處理技術 16, 1075, (1975)
- 3) 百瀬精三 Organo Hilites. Vol4 p121 (1967)
- 4) 神田島一 Organo Hilites Vol4 p130 (1967)
- 5) McCanley, Jour, AWWA, p721 (Jun. 1960)
- 6) J. D. Helwig, The oil & Gas Jour. p101
- 7) Corrosion Hand book p126 (1948)
- 8) W. F. Langelier; J. Am W. W. A. 28. No10. 1 500 (1944)
- 9) 猿橋勞子: 日化誌, 76, No11. 100(1955)
- 10) 佐藤威夫: 用水と廢水 Vol19, 200, (1977)
- 11) Dr. J. Tillmans und O. Heublein (1912); Gesundheits Ingenieur; 35. Jahrg. Nr. 34 p669.
- 12) W. F. Langelier (1936); J. A. W. W. A. Vol25. No10. p1500
- 13) Charless P. Hoover (1938); J. A. W. W. A. Vol3 0. No11. p1802
- 14) Sheppard. T. Powell, H. E. Bacon and J. P. Lill (1945); I. E. C. Vol37. No9. p848
- 15) E. Nordell; Water Treatment for Industrial and Other Uses p218 (1951)
- 16) G. N. Fair and T. S. Geyer; water supply and waste water Disposal., p647 (1954)
- 17) 中西政勝: Mol. No4, p45 (1982)
- 18) 鈴木隆: 化學工學 Vol42. No8 p. 34 (1978)
- 19) 鈴木靜夫, 辰野高司, 加藤健司: 「工業用水處理」 內田鶴圃新社(1972)
- 20) J. Green, Holmes, J. A., JAWWA, 39, 1090 (1947)
- 21) 鈴木靜夫, 辰野高司, 加藤健司: 冷却水の障害と處理, コロナ社 (1972)
- 22) 柏原正純: 水處理技術 Vol17 No7 p47 (1906)
- 23) 柏原正純: 水處理技術 Vol17 No4 p53 (1906)
- 24) 鈴木靜夫: 工業用水 (111) 75 (1967)
- 25) 用水廢水便覽, 丸善株式會社 (1973)
- 26) 金屬防蝕技術便覽, 日刊工業新聞社 (1975)
- 27) 鈴木隆: 中川二郎, 守永日出夫, 山本大輔, 用水と廢水, 12, (9), 21 (1970)
- 28) 鈴木隆, 石油學會誌 15, (7) 586, (1972)
- 29) 柏原正純, 工業用水, p31, No178 (1972)
- 30) 柏原正純, 津出忠宏, 工業用水, p44, No186 (1973)
- 31) 鈴木隆, 防蝕技術 23, 197, (1974)
- 32) 鈴木隆, 今村秀人: 防錆管理, 19, No11, 9(1975)
- 33) F. Speller; Corrosion, Causes, and Prevention p169, McGraw-Hill (1951)
- 34) 鈴木隆, 中川二郎, 村野寛治, 山本大輔: 防蝕技術 Vol17, No8, 322/326 (1968)
- 35) 井上う水 No3, p28 (1969)
- 36) 工業用水 No79, p54 (1965)
- 37) 井上こ水道公論, No. 8, p86 (1968)
- 38) 丁炳璿: 化學과工業의 進歩 Vol8, No2, p123
- 39) 防蝕技術: Vol12, No3
- 40) 石油學會誌, 6(5)(12), 7(5), 8(5).
- 41) F. L. LaQue; Uhlig's Corrosion Handbook p390 (1948)
- 42) E. Heyn, O. Bauer; Mitt. Mat. Prüf., 28. 10 2 (1190)
- 43) T. E. Larson, R. M. King; Corrosion, 10. 110 (1 954)
- 44) M. Uhlig' D. Triadis, M. Stern; J. Electroc- hem. Soc. 102, 59(1955)
- 45) C. W. Borgmann; Ind Eng. Chem., 29, 814. (1937)
- 46) A. Hache.; Rev. de Metallurgie; No1, 76 (1956)
- 47) T. E. Larson, R. V. Skold.; Corrosion; 10 285t (1958)
- 48) 重野隼大: こ工業用水 Vol140 No5, p21 (1970)