

## 밀폐계 냉각시스템용 부식방지제의 제조

최태화<sup>†</sup> · 심상희<sup>\*</sup>

포항종합제철주식회사

\*에큐랩주식회사

(2000년 6월 12일 접수, 2000년 9월 22일 채택)

## Formulation of Corrosion Inhibitor for a Closed-loop Cooling System

Tae-Hwa Choi<sup>†</sup> and Sang-Hea Shim<sup>\*</sup>

Pohang Iron & Steel Co., Ltd.

\*AccuLab Co., Ltd.

(Received 12 June 2000; accepted 22 September 2000)

### 요 약

밀폐계 냉각시스템에 적합한 새로운 방식제를 제조하였다. 방식제는 질산염, 고분자 화합물 등으로 구성되어 있다. 이 방식제는 냉각수 배관 표면에 부식방지 피막을 형성하고, 냉각수 중 스케일 성분의 용해도를 높여 스케일이 부착하는 것을 방지한다. 이는 밀폐계 냉각시스템에서 매우 효과적으로 작용하였다. 종래 사용해 오는 방식제와 방식효과를 비교해 본 결과, 종래 방식제의 경우 방식효과 낮았으나, 새로 제조된 방식제의 경우 매우 낮은 부식도를 나타냈다. 실제 냉각설비에 새로운 방식제를 적용한 결과 부식도가 1.7 MDD이하를 나타냈다.

**Abstract** – A new corrosion inhibitor was developed for prolonging service life of a closed-loop cooling system. It consists of nitrite, organic polymer, etc. The chemical forms the corrosion protection layer on the surface of cooling pipe. It also increases the solubility of scale materials into the cooling water and prevents building-up of scale compounds. It is very effective in the closed cooling system. To compare the relative performance of the conventional inhibitors with the new one in high hardness water, process simulation tests were carried out. In this high hardness water the anti-corrosion performances of the conventional inhibitors turned out to be poor. However, the program with the new inhibitor showed a very low corrosion rate. The corrosion rate caused by the new inhibitor was less than 1.7 MDD in the field test.

**Key words:** Closed-loop Cooling System, Cooling Water Quality, Scale, Corrosion Inhibitor

### 1. 서 론

현대 산업사회에서 공업용수의 약 70%는 냉각수로 사용된다. 공업용으로 사용되는 냉각수 시스템은 물의 사용 방법에 따라 일과식 시스템(once-through system) 또는 순환식 시스템(recirculating system)으로 분류된다. 일과식 시스템은 바다, 저수지 또는 강에서 유입된 냉각수가 열교환기 등의 장치를 통과하여 열을 흡수한 후 다시 물의 유입원으로 되돌아 가는 시스템이다. 순환식 시스템은 열교환기 등에서 흡수된 열을 냉각탑에서 증발열로 방출하거나 열 방출용 열교환기에서 열을 방출한 후 다시 사용되는 것이 반복되도록 설계된 시스템이다. 냉각탑이 존재하는 시스템을 개방순환계라 하고 열 방출용 열교환기에서 냉각이 이루어지는 시스템을 밀폐순환계라고 한다. 개방순환계의 경우는 냉각탑에서 지속적인 증기의 증발이 일어나 순환수의 농축이 발생하므로 지속적인 물의 보충이 이루어져야 하며 또한 지나친 농축시 발생하는 수중의 칼슘 또는 마그네슘 등이 석출되어 장애가 발생하는 것을 방지

하기 위하여 일정량의 냉각수가 연속적 또는 때때로 계외로 방출된다(blow-down). 그러나 밀폐순환계의 경우는 특수한 경우를 제외하고는 냉각수가 계외로 방출되는 경우가 없으므로 수관 또는 열교환기의 부식 또는 금속 표면에 발생하는 스케일 부착 방지를 위한 적정 화학 처리가 수행될 경우 부식이나 스케일 문제가 없이 장기간 안정한 상태를 유지할 수 있다.

이들 냉각시스템이 복잡한 대형구조물일 경우에는 부식이나 마모 등에 의한 결함이 발생시 보수나 교체가 용이하지 않다. 이와 같은 냉각설비가 잘 유지되기 위해서는 적절한 열 부하관리가 필요할 뿐만 아니라 부식 및 관식 형성을 방지하기 위한 냉각수 수질관리가 매우 중요하다. 냉각설비가 부식되어 냉각수가 고온의 화학반응기 내부로 누수될 경우에는 대형폭발사고를 유발할 수 있으며, 냉각관 내부에 관식이 부착할 경우에는 열전도율이 저하되어 설비변형이나 열화시켜 설비사고를 유발할 수 있다.

종래의 냉각설비의 부식을 방지하기 위한 한 방법으로 크롬산염을 사용하였으나 첨가량이 부족할 경우에는 공식(pitting)의 우려가 있으며, 발암물질이어서 잘 사용하지 않고 있다. 또한 NaOH를 투입하여 pH를

<sup>†</sup>E-mail: choith@posco.co.kr

높여 Fe용출속도를 억제하여 표면의 부동태화를 촉진하거나 탄산칼슘의 석출을 용이하게 하여 피막을 형성하게 하는 방법도 있다. 물 속에 녹아 있는 용존 산소를 제거하기 위해 황산염( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )이나 하이드라진( $\text{N}_2\text{H}_4$ )을 사용하기도 한다. 냉각수 계통이 완전한 밀폐계이면 용존 산소가 부식에 소모되고 물 속에 존재하지 않아서 부식이 더 이상 진전되지 않는다. 한편 관식 형성을 억제하기 위해 인산염 계통의 scale방지제를 첨가하여 경도(Ca, Mg)성분을 제거한다. 이와 같은 방법들은 항상 pH를 높게 유지해 주어야 하며, 이들 약품을 투입시 생성된 황산나트륨( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ ), 수산화마그네슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), 인산칼슘( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), 황산칼슘( $\text{CaSO}_4$ ), 규산염( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) 등의 화합물이 관식을 형성하는 주요성분을 구성하게 되어 문제가 된다[4, 5]. 본 연구에서는 밀폐계 냉각설비의 부식과 관식부착을 방지하기 위한 약품을 제조하여 종래 약품과 그 성능을 비교하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 실험장치

냉각설비의 부식 및 관식 형성 방지를 위해 사용되는 방식제의 특성을 단기간에 평가하기 위해서 Fig. 1과 같이 가열관, 공통같이 맞춘 구간 냉각기와 회전자석막대가 있는 삼각플라스크 등으로 구성된 회분식 실험장치를 제작하였다. 냉각수 온도는 20-100 °C 범위에서 조절이 가능하였다.

한편 Fig. 2와 같이 밀폐계 냉각시스템과 유사한 조건을 갖는 모사장치를 제작하여 약품의 특성을 정확하게 검토하였다. 냉각수 배관의 일부구간을 이중관으로 하여 내부 배관으로는 실제 공정의 유량과 동일한 냉각수가 흐르고 외부배관에는 전기발열체에 의해 가열된 물이 흐르게 하였다. 이중관의 각 입구와 출구의 4개소에 온도계를 설치하여 전열특성을 관찰하였다.

제조한 방식제를 실제 냉각설비에 적용하여 그 성능을 확인하기 위해 coupon이 내장된 test column을 냉각수 배관에 설치하여 매일 1회씩 coupon의 상태와 매주 1회씩 냉각수 수질을 분석하였다.

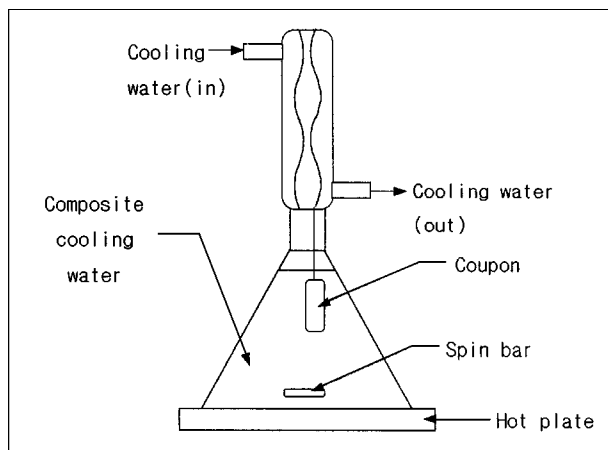


Fig. 1. Experimental apparatus.

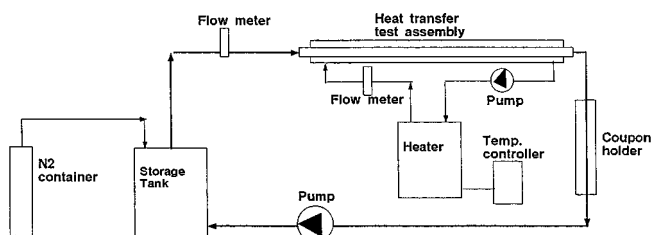


Fig. 2. Schematic diagram of closed-loop cooling system.

### 2-2. 실험방법

냉각수 수질분석은 적외선 분광광도계(UV-visible spectrophotometer; 일본 Shimadzu사 제품), pH meter, 전기전도도 메타 등을 사용하였다.

회분식 실험에서는 단기간에 약품의 성능을 관찰하기 위해 증류수에  $\text{CaCl}_2$ 와  $\text{NaHCO}_3$ 를 첨가하여  $\text{Ca}^{2+}$ 와  $\text{HCO}_3^-$ 농도가 각각 200 ppm인 합성 냉각수를 만들어 사용하였다. 약품의 부식도 및 부착도는 coupon의 시험전후 무게감량을 측정하여 아래와 같은 식에 의해 산출하였다.

$$\text{부식도(MDD)} = \frac{[\text{시험 전 coupon 무게}(\text{mg}) - \text{시험 후 세척한 coupon 무게}(\text{mg})] \times 100}{[\text{coupon표면적}(\text{cm}^2) \times \text{시험일수}(\text{day})]} \quad (1)$$

$$\text{부착도(MCM)} = \frac{[\text{시험 후 coupon 무게}(\text{mg}) - \text{시험 후 세척한 coupon 무게}(\text{mg})]}{[\text{coupon표면적}(\text{cm}^2) \times \text{시험일수}(\text{month})]} \quad (2)$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 밀폐계 냉각수 방식제 제조

밀폐계 냉각시스템의 부식과 스케일 부착을 방지할 수 있는 것으로는 Table 1과 같은 약품들을 고려해 볼 수 있다.

본 연구에서는 우선 부식방지 역할을 할 수 있는 부식방지제(anodic inhibitor)들의 밀폐계 냉각시스템에서 방지효과를 검토하였다. Fig. 3은 Fig. 1의 실험장치를 이용하여 이들 부식방지제들의 농도를 변화시켜 냉각수 온도가 40 °C를 유지하는 조건에서 부식도를 측정된 결과이다. 폴리브덴화합물과 아질산 나트륨이 크롬화합물보다 우수한 부식방지 효과가 있음을 확인하였다. 폴리브덴 화합물과 아질산 나트륨의 거의 유사한 효과를 나타냈다. 이들 약품농도가 1,000 ppm이상이 되면 최상의 효과를 나타냈다. 폴리브덴 화합물은 고가여서 본 연구에서는 부식방지제로 아질산 나트륨을 선정하였다. 아질산염은 산화제로서 강관의 표면에 얇고 치밀한  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 의 피막을 형성하여 부식을 방지한다. 그러나 아질산염은 미생물과 산화작용을 하여 방식제의 효율을 저하시키고 생물학적인 fouling을 생성하는 단점이 있다[1]. 냉각수 온도가 낮은 개

Table 1. Chemicals for corrosion & scale inhibition

	Chemicals
Corrosion inhibitor	Chromate
	Molybdate
	Nitrite
Scale inhibitor	POE; polyolester
	TEAP; triethanolamine phosphate
	AMP; aminotris methylene posphonic acid
	HEDP; 1-hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic acid
	PBTC; 2-phosphonobutane-1,2,4-tricarboxylic acid
	HPA; hydroxy-phosphonoacetic acid
	EDTMP; ethylene diaminetetramethylene phosphonic acid

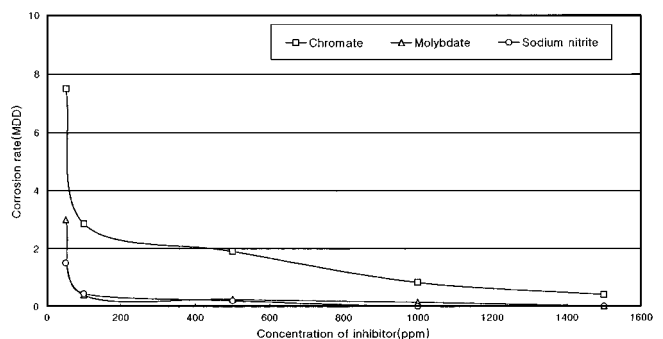


Fig. 3. Corrosion rate with various anodic inhibitors.

Table 2. Time for appearance of PO<sub>4</sub> ions(hr)

Phosphates	Temperature of water(°C)		
	40	80	100
AMP	38	—	—
HEDP	1056	2.5	—
PBTC	1080	28.0	4.0

방계에서는 아질산염을 사용하는 것이 부적합하나 미생물이 살 수 없는 고온의 밀폐계에는 적합하다고 판단된다.

경도성분의 관석 형성을 억제하기 위하여 여러 가지의 유기인산염과 분산제를 검토하였다. 유기인산염은 탄산칼슘 스케일방지가 가능하나 냉각수가 100°C에 가까운 고온일 경우 이들 고분자 화합물들이 열안정성에 문제가 될 수 있다. 열안정성 평가는 이들 유기인산염을 투입한 냉각수 중에 PO<sub>4</sub>이온의 나타나는 시간으로 평가할 수 있다[2]. Table 2는 냉각수가 든 삼각플라스크에 유기인산염들을 각각 100 ppm을 투입하고 단계별로 열을 가하여 이들 고분자 화합물들이 분해되면서 PO<sub>4</sub>이온이 물 속으로 녹아 나타나는 시간을 측정한 결과이다.

PBTC의 경우가 열안정성이 가장 높게 나타나서 이들 유기인산염들 중에서 PBTC를 관석 억제제로 선정하였다. PBTC는 HOOC-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-C(COOH)(PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>)-CH<sub>2</sub>-COOH와 같은 구조를 갖는 고분자 화합물(분자량 270 g/mol)로 탄산칼슘 입자에 화학흡착(chemisorption)하여 중칼슘염(disodiumsalt)형태로 그 결정의 형상을 변화시켜 스케일 결정구조가 아주 약한 응집력을 갖게 하여 단단한 관석을 형성하지 못하게 한다 [10, 13, 14]. PBTC의 사용량은 칼슘농도에 비해 극히 적은 양으로 스케일발생을 막을 수 있다. 또한 일부 PBTC는 다음과 같이 수산화 철과 콜로이드 형태의 결합을 하여 철산화물의 얇은 피막을 형성하여 부식을 방지하는 효과를 발휘한다[3].

이와 같은 부식방지 효과를 살펴 보기 위해 Fig. 1의 실험장치를 이용하여 몇 가지 유기인산염들을 냉각수에 첨가하여 부식도를 측정하였다. Fig. 5는 그 실험결과로 이들을 첨가할 경우가 부식도가 낮아지는 것을 알 수 있으며, 20-100 ppm정도인 경우가 부식방지효과가 가장 크게 나타났으며, 그 이상을 첨가할 경우에는 냉각수의 pH가 낮아져 부식도가 상승하는 경향을 나타냈다.

부식 생성물 또는 스케일 성분의 침전물이 냉각관 벽에 흡착되지 않도록 하기 위하여 분산제로 중합체(polymer) 또는 공중합체(co-polymer)를 사용하였다. 이러한 물질들은 아크릴산 중합체 또는 공중합체, 이들

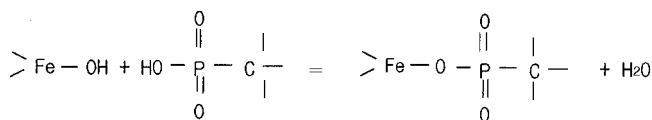


Fig. 4. Film formation of iron oxide peptized by PBTC.

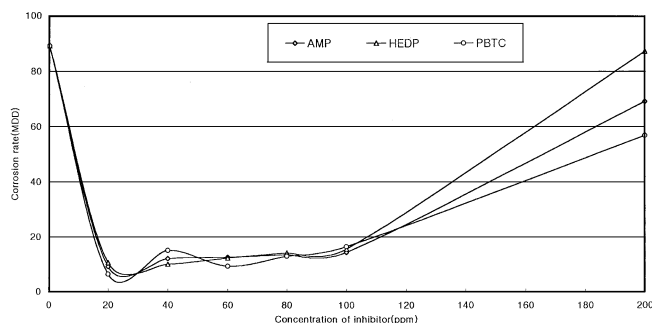


Fig. 5. Corrosion rate with various cathodic inhibitors.

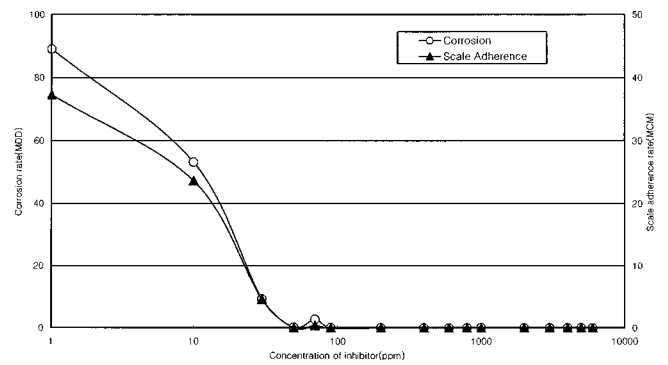


Fig. 6. Effect of inhibitor concentration on corrosion and scale adherence rate.

의 알칼리 또는 암모니아 염의 형태로 된 것들을 사용하였다. 이들의 분자량은 수천에서 수십만에 이른다. 이들은 스케일 성분의 성장을 막고, 입자의 표면을 부드럽게 하여 부착이 잘할 수 없게 한다. 구리합금으로 제작된 냉각수 펌프나 밸브류의 부식을 방지하기 위해 부식방지제를 추가하였다. 구리합금 부식방지제는 머캅토벤조티아졸(mercapto-benzo-thiazole), 벤조트리아졸(benzotriazole) 또는 톨릴트리아졸(tolyltriazole)을 사용하였다. 이들 화합물들은 구리합금에 화학적으로 흡착되어 전기 화학적 반응인 구리의 부식을 방지하였다[9, 15].

이들 약품은 아질산염이 23-27%, 유기인산염이 0.3-0.7%, 분산제가 0.4-0.7% 그리고 구리방지제가 0.1-0.3%의 조성으로 물에 용해시켜 만든 약품을 냉각수에 투입하였다. 냉각수 중 약품의 농도는 4,000-6,000 ppm(NO<sub>2</sub>이온이 600-1,200 ppm)을 유지할 수 있게 하였다.

Table 3. Specifications of conventional & new inhibitors

No	Specifications	Chemical brand
1	-NaOH -Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> -Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	C3
2	-Phosphate(as PO <sub>4</sub> 4.2-6.2%) -Etidronic acid -N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> : 1-10% -KOH: 10-20% -Polymer: 1-10%	K2
3	-Phosphate(as PO <sub>4</sub> 8.0%) -Etidronic acid -N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> : 4% -KOH: 15-25% -Polymer(Acrylic acid) -S <sub>1</sub>	K6
4	-Phosphate(PO <sub>4</sub> 7.9%) -NaOH(pH 8.4±1.0) -Polymer -N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	K1
5	-Polymer -Phosphate -NaOH(pH 11.5±1.0)	Uo
6	-Triazine -Azole -Polymer -Phosphate	Co
7	-Sodium nitrite -Phosphonate -Polymer	POSLAB (This work)

### 3-2. 냉각수 처리제의 효과

Fig. 1의 실험장치를 이용하여 신 냉각수 처리제의 첨가량 변화시 부식 및 부착방지특성을 조사하였다. Fig. 6은 실제 냉각설비에서 사용하는 냉각수를 사용하고, 냉각수 배관과 동일한 재질(STPG400)의 coupon을 사용한 부식도와 스케일의 부착도를 측정한 결과이다. 약품농도가 100ppm 이상이 되면 부식방지 효과가 있는 것으로 나타났다. 부착도도 100 ppm 이상이 되면 관석 부착 방지효과가 있는 것으로 나타났다.

신 냉각수 처리제의 성능을 타 약품과 비교해 보기 위해 주로 인산염이나 하이드라진, 분산제 등으로 구성된 종래약품들과 아질산염 및 유기인산염, 분산제 등으로 구성된 본 연구 개발약품들 각각 수질이 동일한 냉각수에 투입하여 부식 및 관석 형성에 관한 회분식실험을 1개월간 행하였다. Table 3은 실험에 사용된 약품들의 사양을 나타내고 있다.

Table 4로부터 종래약품들은 사용한 경우는 일부약품들은 부식도나 부착도가 대단히 높아 밀폐계 냉각시스템에 부적합한 것으로 나타났다. 신약품들을 첨가한 경우 실험전후의 coupon의 무게변화가 전혀 없었으며, 표면도 매우 깨끗한 상태를 유지하였다. 육안관찰에 의한 냉각수 색깔은 종래약품들을 첨가한 것은 우유풀이나 갈색의 매우 탁한 상태를 나타냈으나 신 약품은 실험 전 냉각수와 동일하게 투명한 상태를 나타냈다. Table 5는 냉각수의 수질분석결과이다. 종래 일부약품들은 경도성분을 제거하는 효과가 탁월하여 냉각수 중 전경도성분이 나타나지 않은 것이 있었으나 이들 화학반응의 생성물로 인해 탁도가 높아지는 경우가 있었다. 이와 같은 생성물이 배출되지 않을 경우에는 밀폐계 냉각설비 내 관석으로 부착할 가능성 높다고 판단된다. 또한 일부 종래약품들을

Table 4. Corrosion rate and scale adherence rate

No	Corrosion rate(MDD)	Scale adherence rate(MCM)	Color of cooling water	Chemical brand
1	1.21	13.5	Light milky	C0
2	0.65	6.2	Milky	K2
3	0.86	8.5	Milky	K6
4	1.42	45.1	Red brown	K1
5	83.62	23776.6	Yellow brown	U0
6	1.78	5.3	Light brown	C0
7	0.0	0.0	Colorless	POSLAB
8	59	19.1	Light brown	Without inhibitor

사용한 경우 냉각수 중 Fe성분이 다량 검출되는 것이 있었다. 이는 탈철제로서의 역할이 큰 것으로 판단된다. 한편 신약품의 경우는 냉각수 전경도와 전기전도도가 가장 높게 나타났다. 이는 신약품 투입으로 인해 경도성분의 용해도를 상승시켜 다량의 경도성분이 냉각수 중에 녹아 있는 것에 기인한다고 판단된다.

신약품들을 사용할 경우 부식방지 피막이 생성되는 여부를 확인하기 위한 실험을 행하였다. 신약품들을 첨가한 냉각수에 coupon을 침전시킨 전, 후의 표면 상태를 Scanning Auger Multiprobe(Perkin-Elmer사 제품; Model No. PHI600)로 분석하였다. Fig. 7은 냉각수에 침전시키기 전 coupon의 분석결과로 횡축은 coupon 두께방향으로 probe가 10 Å/min 속도로 전진하는데 경과한 시간을 나타내며, 종축의 검출되는 각 성분

Table 5. Chemical analysis of cooling water

No	pH(-)	T. Hard(ppm)	Cl(ppm)	PO <sub>4</sub> (ppm)	T. Fe(ppm)	Cond(μ S/cm)	Turb(FAU)	Chemical brand
	7.6	472	362	0.69	0.14	1499	2.54	Original cooling water
1	7.31	43	412	34.2	0.25	1253	31.0	C0
2	9.8	0	439	508	0.28	4690	52.0	K2
3	10.4	0	433	31.6	0.24	4660	20.0	K6
4	7.72	46.5	403	402.6	48.8	1247	267	K1
5	8.2	448	355	30.8	12.3	1510	114	U0
6	8.7	383	496	137	0.59	1878	217	C0
7	7.6	464	369	38.9	0.18	12580	3.38	POSLAB
8	7.8	380	372	0.66	1.14	1092	32.8	Without inhibitor

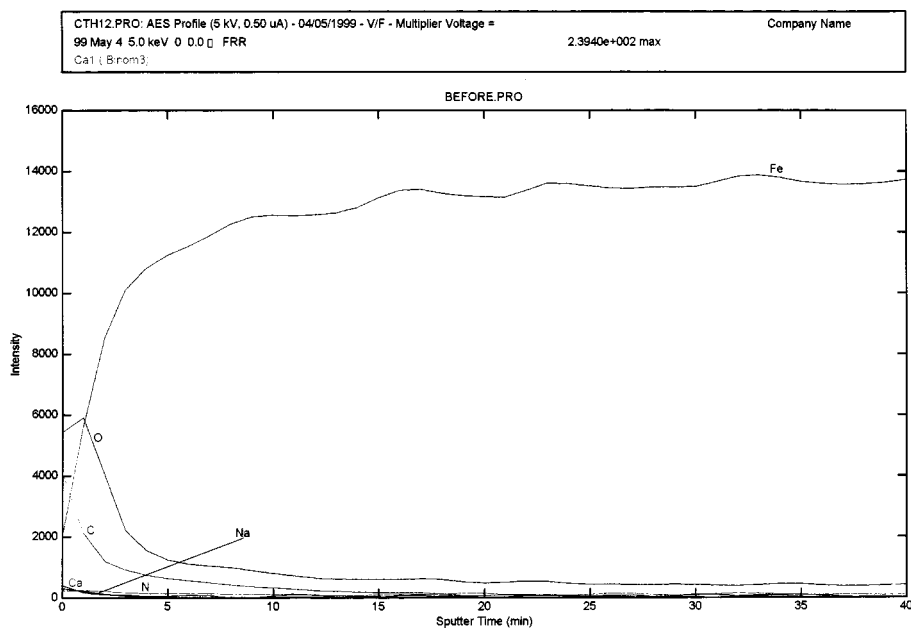


Fig. 7. Auger depth profile film formed on original coupon.

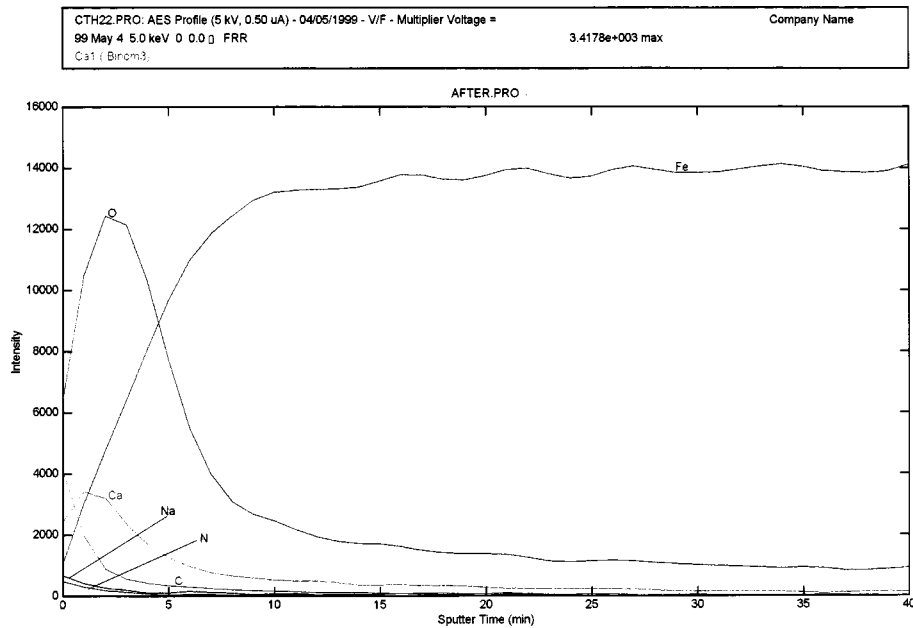


Fig. 8. Auger depth profile film formed on pickled coupon through POSLAB inhibitor in cooling water.

들의 강도를 나타낸 것이다. 시편의 표면은 주로 철 성분이며 산소와 탄소성분이 미량 검출되고 있음을 보여준다. Fig. 8은 coupon을 30일간 침전시킨 후의 결과로 표면으로부터 약 10-70 Å의 깊이에 상당한 산소성분과 소량의 칼슘성분이 있음을 보여준다. 이는 신약품에 의해  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 와 Ca성분의 피막이 coupon의 표면에 형성된 것이라고 판단된다.

냉각수에 방식제를 첨가할 경우 냉각설비의 전열특성변화를 파악하기 위해 밀폐계 냉각시스템을 대상으로 다음과 같이 열전달계수의 변동을 살펴 보았다. 우선 Fig. 2의 이중관으로 된 부분의 온도변화를 살펴보면 내부관으로 흐르는 냉각수는  $T_1$ 에서  $T_2$ 로 증가하고, 외부관은 내부관에 열을 전달해주면서  $T_3$ 에서  $T_4$ 로 감소한다.

이 경우 외부관에서 내부관으로 전열량( $Q_1$ ; Kcal/sec)은 다음과 같다.

$$Q_1 = UA\Delta T \quad (3)$$

여기서

U: 총괄열전달계수(Kcal/m<sup>2</sup> sec °C)

A: 전열면적(m<sup>2</sup>)

$\Delta T$ : 로그평균온도차(°C)

$$\Delta T = \{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)\} / \ln\{(T_3 - T_2)/(T_4 - T_1)\}$$

한편 외부관의 전열량( $Q_2$ ; Kcal/sec)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Q_2 = C_p M(T_3 - T_4) \quad (4)$$

여기서

$C_p$ : 열용량 계수(Kcal/Kg °C)

M: 유량(Kg/sec)

$T_3, T_4$ : 입, 출구온도(°C)

식 (3)을 정리하면

$$U = Q_1 / A\Delta T \quad (5)$$

내부관과 외부관의 전열량이 같다( $Q_1 = Q_2$ )고 가정하고 식 (5)에 (4)를 대입하면

$$U = C_p M(T_3 - T_4) \ln\{(T_3 - T_2)/(T_4 - T_1)\} / A\{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)\} \quad (6)$$

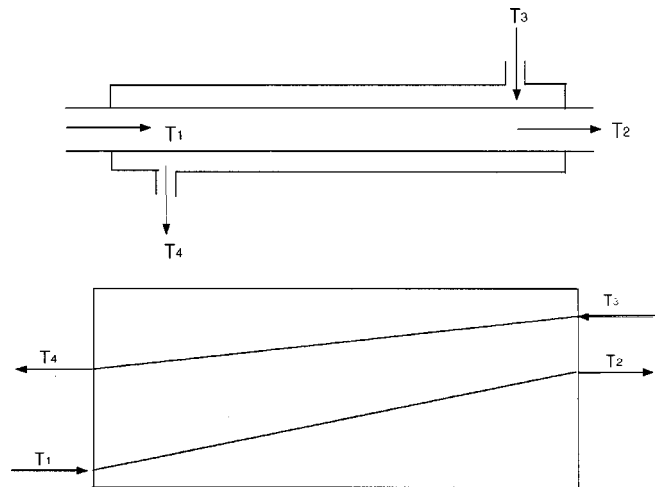


Fig. 9. Heat transfer of stave cooler.

약품투입 전 총괄열전달계수( $U_{std}$ )와 약품투입 후 총괄열전달계수( $U_{act}$ )와의 비를 AF라고 정의한다.

$$AF = U_{std} / U_{act} \quad (7)$$

약품투입 전후의 냉각수의 열용량, 유량 및 전열면적이 동일하다고 하면

$$C_{pstd} = C_{pact}, M_{std} = M_{act}, A_{std} = A_{act}$$

총괄열전달계수의 비(AF)는

$$AF = \frac{(T_3 - T_4) \ln\{(T_3 - T_2)/(T_4 - T_1)\} / \{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)\}}{(T_3 - T_4) \ln\{(T_3 - T_2)/(T_4 - T_1)\} / \{(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)\}} \quad (8)$$

가 된다. Fig. 10은 NaOH,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ 를 사용하는 종래약품을 투입한 경우와 신 개발약품(POSLAB)을 투입한 경우의 총괄열전달계수의 비를 나타낸 것이다. 종래약품을 투입한 경우는 100여 시간이 지나서 총괄열전달계수의 저하로 AF가 상승함을 알 수 있다. 배관내 부착물 형성 등으로 인해 열전달이 저하된 것으로 판단된다. 신약품을

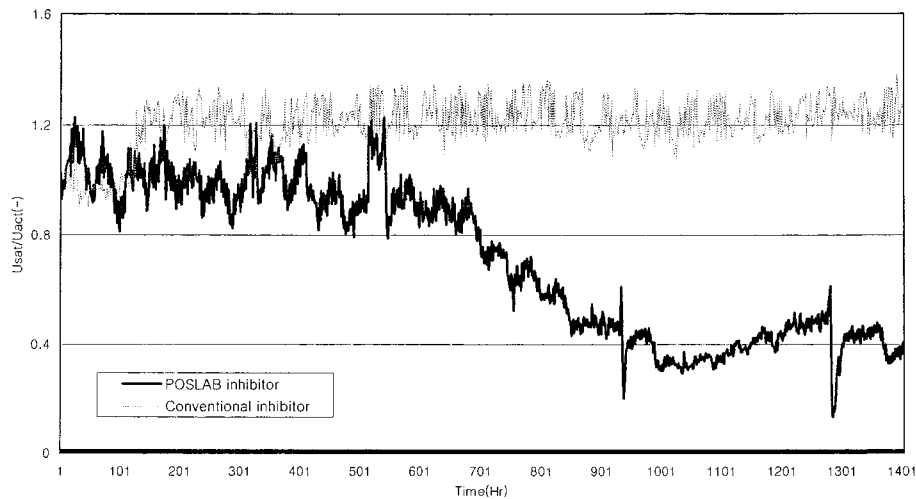


Fig. 10. Trend of heat transfer coefficients with different inhibitors.

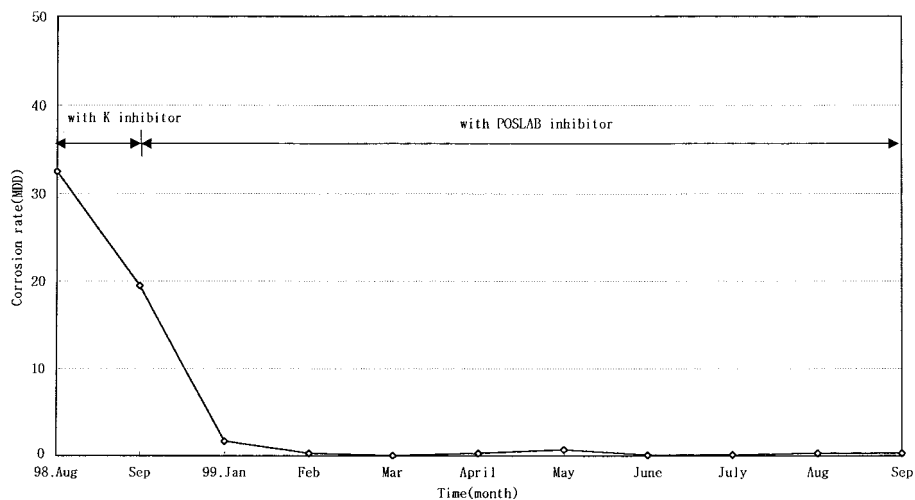


Fig. 11. Corrosion rate of closed-loop cooling system.

사용한 경우는 600여 시간 후부터 열전달 계수가 증가하여 AF가 현저하게 저하됨을 알 수 있다. 신약품의 투입으로 인해 배관표면의 오염물질 제거효과에 의해 열전달 능력이 향상되었다고 판단된다.

### 3.3. 현장적용실험

신개발 약품을 실제 가동 중인 용광로의 냉각설비인 stove cooler에 적용하였다. Stave와 stove를 연결해 주는 냉각수 배관에 설치한 test column내 coupon의 부식도를 살펴보면, 신 약품을 사용하기 전 종래약품(K inhibitor)을 사용하였을 경우 Fig. 11에서 보는 바와 같이 부식도는 19-33 MDD를 나타냈으나 신약품을 사용한 이후에는 1.7 MDD이하의 낮은 수준을 나타냈다. 관식부착도는 Fig. 12에서 보는 바와 같이 본 약품을 사용한 이후 약간 증가한 0.04 MCM이하를 나타냈으나, 부착도의 관리치가 5 MCM이하인 것을 감안하면 안전하다고 판단된다.

한편 냉각수 수질을 분석한 결과 전기전도도가 신약품을 사용한 이후 크게 상승하였다. 전경도성분도 역시 크게 증가되었다. 이들의 증가는 신약품을 사용할 경우 scale성분들이 석출되지 못하고 이온상태로 냉각수 중에 녹아 있는 것에 기인한다고 본다. 냉각수 중 총 Fe이온농도와 탁도는 종래약품을 사용할 경우나 유사한 수준을 나타냈다. Photo 1은 본 개발약품을 사용하기 전후의 scale이 붙어 있는 냉각수 배관을 sampling하여 현미경(EPMA) 관찰한 결과이다. 신약품을 사용하기 전에는

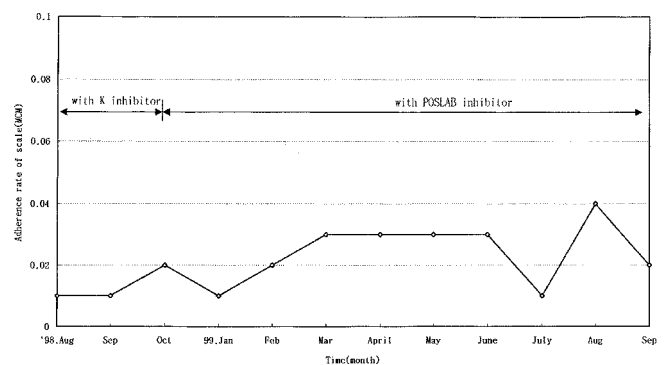


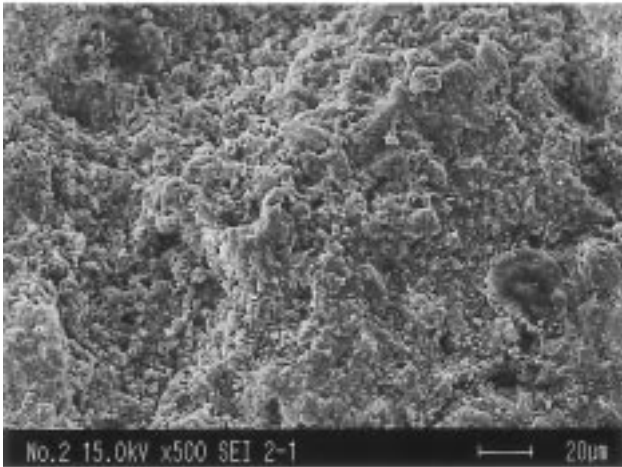
Fig. 12. Scale adherence rate of stove closed-loop cooling system.

scale성분들로 부착되어 있으나 신약품을 사용한 후에는 scale들이 일부 떨어져 나가고  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  결정이 성장함을 볼 수 있다.

## 4. 결 론

- (1) 밀폐계 냉각시스템에 적합한 신 냉각수 처리제를 제조하였다.
- (2) 신개발약품 사용시 아질산염에 의한  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  부식방지 피막형성

### <Scale deposition>



### <Crystalline structure of $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>

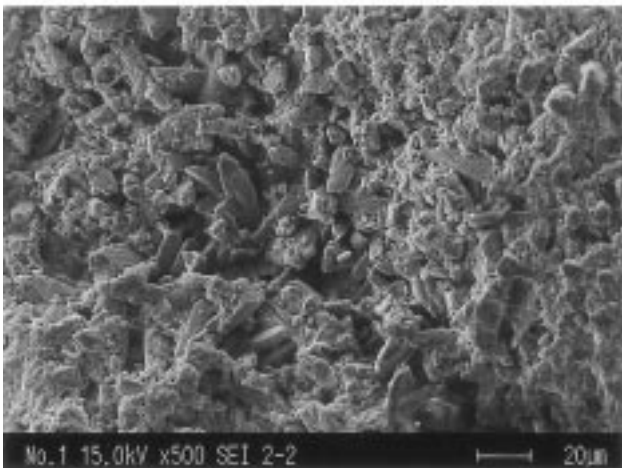


Photo 1. Comparison between scale deposition and crystalline structure of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on cooling pipe surface.

과 고분자 유기인산에 의한 스케일방지 효과가 있었다.

(3) 신약품사용시 냉각수 배관에 부착한 스케일을 제거하는 청관 효과가 있었다.

(4) 신약품을 현장에 적용한 결과 냉각수 배관의 부식도는 1.7 MDD 이하를 나타내 기존 약품보다 탁월한 방식효과가 있음을 확인하였다.

(5) 신약품을 사용할 경우 간편한 냉각수 수질관리와 배관내 스케일 제거를 위한 세관작업을 생략할 수 있을 것으로 기대한다.

### 참고문헌

1. Betz Laboratories: "Betzdearborn Handbook of Industrial Water Conditioning," 9th ed., Betz Laboratories, Inc., Trevose, PA, 231(1991).
2. Starostina, M., Smorodin, A. and Gal-Or, L.: *Material Performance*, **March**, 52(1999).
3. Bohnsack, G.: *VBG KRAFTWERKSTECHNIK*, **66**, 47(1986).
4. Weber, J.: *Br. Corros. J.*, **14**, 69(1979).
5. Grotefend, B. R.: *Iron and Steel Engineer*, **June**, 46(1980).
6. Stafford, A. E.: *Corrosion Prevention and Control*, **Oct.**, 11(1979).
7. Lee, J. W.: *CEP*, **July**, 56(1980).
8. Marshall, A., Greaves, B. and Everitt, M.: *Materials Performance*, **May**, 45(1986).
9. Walker, R.: *Corrosion*, **32**, 33(1976).
10. Dreha, I., Falewicz, P. and Kuczkowska, S.: *Water Res.*, **32**, 3188(1998).
11. Sullivan, P. J.: *CTI Journal*, **16**, 62(1994).
12. Banerjee, D. J.: *Corrosion & Maintenance*, **July**, 193(1981).
13. Fielden, T. B. and Stockton, G.: *Br. Corrosion Journal*, **2**, 87(1967).
14. Dairat, P. and Suneath, C.: *Langmuir*, **13**, 1791(1997).
15. Gonma, G. K.: *Materials Chemistry and Physics*, **56**, 27(1998).