

# 냉각수 시스템의 수처리 기술 및 각종 장애대책(7)

(주)프라임텍인터내셔널 / 전병준 이사

## 차례

- I. 물의 기초적 특성 고찰
- II. 냉각수계 운전상의 문제점
- III. 부식과 방지대책
- IV. 스케일과 방지대책
- V. 슬라임부착 및 슬러지 퇴적의 방지대책
- VI. 냉각수처리 약품과 기술에 대한 연구개발의 전망
- 
- VII. 냉각수계의 Trouble shooting
- 
- VIII. PLANT별 수처리 특성과 장애방지
- IX. 밀폐 냉각수계의 수처리

## VII. 냉각수계의 Trouble Shooting

### 1. 신설 및 정기 보수 기간중의 처리방법

#### 가. 개요

##### 1) Shut Down에 따른 준비사항

- 개방 H/E LIST-UP
- 각 PLANT별 SHUT DOWN TIME SCHEDULE 정리
- INSPECTION 장비 준비
  - FIBER SCOPE
  - CAMERA
  - 후레쉬
- 오염물 제거를 위한 MECHANICAL CLEANING 장비(JET CLEANER, BRUSH)
- 기초투입 CHEMICAL 준비
  - 부식방지제 및 SCALE 분산제
  - pH CONTROL제

##### 2) SHUT DOWN 이후 조치 사항

"ANNUAL SHUT DOWN 以後의 冷却水의 WATER FLUSHING 및 INITIAL TREATMENT 計劃(案)"

#### 나. Shut Down 기간중의 H/E 개방 점검

##### 1) PRE-MEETING 실시

- 가) HEAT LOAD, 열교환기의 중요도 등을 고려하여 개방 조사할 열교환기 선정
- 나) 조사 대상 열교환기의 체원 조사 ( $\Delta T$ , HEAT FLUX, 재질, 형식, 유속, 온도 등)
- 다) 열교환기의 설치 연도 및 운전기간 중의 점검내용 등의 조사

##### 2) INSPECTION 내용

#### 가) 육안 관찰

육안 관찰이 가능한 열교환기의 TUBE, TUBE SHEET, PARTITION PLATE, HEAD-COVER에 대한 고찰

- ① 부식의 발생정도(공식의 깊이, 부식산화물위 부착 두께, 발생부위, 부식의 형태 등)의 조사 기록
- ② 스케일 부착 정도(스케일 부착 두께, 스케일 부착위치 등)의 조사 기록
- ③ SLIME 및 SLUDGE의 부착 및 퇴적 정도(두께, 부착위치) 조사 기록
- ④ 사진촬영 및 부착물의 SAMPLE 채취(조성 분석)

#### 나) FIBERSCOPE에 의한 관찰

육안관찰이 불가능한 열교환기 등의 심층부 상대 관찰

- ① FIBERSCOPE 에 의해 관찰되는 심층부의 부식, 스케일, 슬라임 발생 상황 등의 관찰 기록
- ② 필요 부분에 대한 촬영

#### 다) 냉각수계 운전내역 조사

- ① 운전 조건 [순환수량 (m<sup>3</sup>/hr), 보유수량(m<sup>3</sup>),  $\Delta t$ , 농축배수 등] 조사
- ② 기간중의 수질관리 내역 (보급수, 순환수) 조사
- ③ 각종 MONITORING 결과 수집 및 조사 (부식속도, SLIME 부착도, 기타)
- ④ 약품 사용내역 조사
- ⑤ 기간중 설비 운전상 특기 사항

#### 3) 총평

- 가) 운전관리 측면
- 나) 약품효과 측면
- 다) 수질관리 측면
- 라) 상기 조사내용에 대한 종합적인 의견 교환 및 총평

#### 4) 향후 대책수립 및 관리방안 수립 제시

- 가) 상기 조사내용의 종합보고 및 보다 효율적인 관리

나) SCALE 분석결과에 의한 장애판정 기준표에 의거

【 표 7-1. 스케일 분석결과에 의한 장애 판정 기준 】

장애의 종류	SCALE 조성	탄소강	SUS 및 비철금속
부식	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60% 이상	-
SCALE	CaO + MgO + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + SiO <sub>2</sub> + ZnO	40% 이상	60% 이상
SLIME	IL + SiO <sub>2</sub> (토사) + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30% 이상	50% 이상

2. 열교환기 개방검사시의 판정기준

【 표 7-2. H/E 개방 검사시의 판정 기준 】

등급	장애의 종류	내 용
A	부식	공식깊이 0.3mm 이하, 모재 표면이 미약하게 부식, 연속운전이 가능한 경우
	Scale	Scale 부착 0.3mm 이하로서 연속운전이 가능한 경우
	Slime	Slime 부착물 채취가 곤란할 정도로 소량일 경우
B	부식	인지가 가능할 정도의 부분적 부식이 발생되어 공식 깊이가 0.3mm~0.5mm인 경우
	Scale	Scale 부착 0.3mm~0.5mm 정도인 경우
	Slime	Slime 부착 두께가 0.3mm~0.5mm 정도인 경우(안전운전 위해 박리 세정 필요)
	Tube의 일부 팽창	Tube가 이부 (전체의 1/3 이하) 팽창인 경우
C	파손	부식 Scale · Slime으로 Tube 파손, 충전재 낙하 등 기재 교체가 필요한 경우
	폐쇄 또는 반폐쇄	Tube, 배관, 노즐 등이 폐쇄 또는 반폐쇄의 상태로써 연속운전이 불가능한 경우
	국부 부식	격심한 국부부식 (공식깊이 0.5mm 이상)이 다량 발생한 경우
	Tube 두께 감소	Tube 모재가 0.5mm 이상 감소된 경우
	대량의 Tube 팽창 파손	팽창으로 Tube가 파손된 경우 (1/3이상)
	Scale	Scale 부착이 0.5mm 이상인 경우
	Slime	Slime 부착 두께가 0.5mm 이상인 경우

3. H/E의 오염물 제거방법과 중요성

열교환기 개방점검시 오염된 열교환기에 대해서는 반드시 적절한 처리를 실시하여야 한다.

오염된 열교환기의 처리 방법에는,

- MECHANICAL CLEANING 실시 (JET CLEANING & BRUSHING 실시)
- 신설 PLANT 가동초년도 열교환기
- 열교환기 개방결과 "A" 급을 제외한 전 H/E (차년도 연속조업을 위해 MECHANICAL CLEANING을 실시)

- CHEMICAL CLEANING 실시
  - 오염된 열교환기중 분해 해체 작업이 불가능한 SHELL TYPE의 열교환기
- DUFRYH한기 교체 실시

등의 방법이 있다.

이러한 방법중에서 일반적으로 가장 많이 사용하고 있는 방법은 오염 대상물에 직접 작용하여 오염물을 제거시킬 수 있으며, 가장 신속하고 제거효율이 높은 MECHANICAL CLEANING (JET & BRUSHING) 방법으로 오염물을 제거한다.

따라서 개방시 오염도가 높아 부득이 CLEANING이 필요할 시는 MECHANICAL CLEANING을 실시하는 것이 좋다.

#### 4. MECHANICAL CLEANING이 불가능한 H/E에 대한 대책

개방점검시 오염된 H/E에 대해서는 MECHANICAL CLEANING방법에 의한 오염물 제거가 우선되어야 한다. 단, 기계적인 구조상 개방 또는 분해·해체가 어려운 H/E의 오염물질 제거는 부득이 CHEMICAL CLEANING을 실시하는 수밖에 없다.

CHEMICAL CLEANING에 의한 오염물 제거는 절차와 실시단계가 복잡하며, 여러 가지 제약이 수반되고 CLEANING이후 수세, 박리된 SLUDGE 제거처리, 중화처리, 방청 처리 등의 어려움이 따른다.

- i) 재질 및 SCALE 성상 파악
- ii) 가배관 설치
- iii) 순환 PUMP 준비 (전원)
- iv) CLEANING CHEMICAL 준비
- v) 중화제 및 방청제 준비
- vi) 충분한 보충수 확보
- vii) 신속한 기초파막 처리 실시

따라서 CHEMICAL CLEANING에 의한 H/E 오염물 제거시에는 그 단계와 작업이 복잡하기 때문에 충분한 시간적 여유가 필요하며 ACID CLEANING시는 오염되지 않은 부위 등에서의 DAMAGE는 감수하여야 한다.

#### 5. H/E OPEN 점검시 MECHANICAL CLEANING 실시시기 및 빈도

가. 수처리 실시 당해 년도 또는 초년도 SHUT DOWN 전 H/E에 대한 MECHANICAL CLEANING 실시

1) 신설 PLANT에서는 건설초기 유입된 모래, 흙기타 불순물에 의해 당해 년도 또는 초년도 SHUT DOWN 시 반드시 MECHANICAL CLEANING을 실시해야 한다.

2) 신설 PLANT의 경우 정상운전에 돌입하여 정상 HEAT LOAD가 걸리기까지 불규칙적인 수질관리로 인해 정상적인 CORROSION, SCALE, SLIME CONTROL이 이루어지지 않을 가능성이 높으므로 반드시 MECHANICAL CLEANING을 실시할 필요가 있다.

나. VISUAL 점검시 [표. 7-2]에 의거 B, C 등급으로 판정될 경우 MECHANICAL CLEANING 실시

다. 각 H/E SPEC.에 의거 FOULING 허용기준치 이상일 경우 FOULING 방지 차원에서 다음과 같은 방법으로 운전조건을 CHECK 하여 TROUBLE SHOOTING을 실시하여야 하며, 또한 ANNUAL SHUT DOWN 시 VISUAL 점검의 결과를 토대로 MECHANICAL CLEANING 실시 여부를 결정한다.

#### ※ HEAT TRANSFER COEFFICIENT

초기 운전시 전열량(Q)을 DESIGN VALUE로 하여 일 정기간 운전시 총괄전열 계수 ( $U_r$ ; OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT)를 구하여 FOULING

FACTOR를 확산한다.

즉, FORIER EQUATION에서

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Q: kcal/hr (DESIGN BASE)

U<sub>0</sub>: 초기운전시 총괄전열계수(DESIGN BASE)

U<sub>f</sub>: 일정기간 운전후 총괄전열계수  
(ESTIMATE)

A: 수축전열 면적 (CONSTANT)

ΔT<sub>0</sub>: 초기운전시 LMTD

ΔT<sub>f</sub>: 일정기간 운전후 현상상태에서의 LMTD  
(CHECK)

※ LMTD (LOGRITHMIC MEANSTEMPERATURE DIFFERENCE)

$$\Delta T_L = \frac{\frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{n \times \Delta T_1}}{\Delta T_1}$$

따라서 기본적으로 필요한 변수는 U<sub>f</sub>와 ΔT<sub>f</sub>이며, 수축과 PROCESS 측의 ΔT를 측정하여 DESIGN BASE(초기 운전 DATA) 의 Q,U,A를 이용하여 U<sub>f</sub>를 계산한다.

U<sub>f</sub>와 오염계수와의 관계는 역수관계로 다음과 같다.

$$F_f (\text{FOULINGFACTOR}) = \frac{1}{U_f} - \frac{1}{U_0}$$

즉, 현재 상태에서의 F<sub>f</sub>를 구하면 현재 열교환기의 오염정도를 표-2의 수축 허용 FOULING FACTOR와 비교하여 오염정도를 간접적으로 알 수 있으며, 허용한계치를 초과했을 경우 스케일방지 차원의 TROUBLE SHOOTING을 실시하고 계속적으로 CHECK 한다.

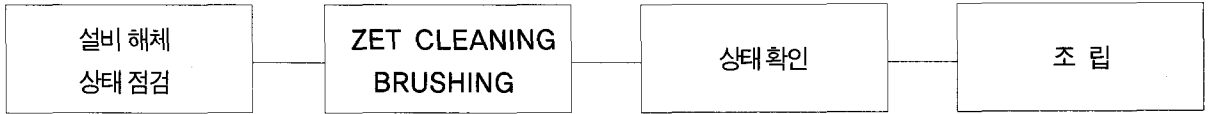
이후 ANNUAL SHUT DOWN시 VISUAL 점검을 토대로 MECHANICAL CLEANING 여부를 결정한다.

## 6. CLEANIGN의 종류와 특성

항목	MECHANICAL CLEANING	CHEMICAL CLEANING
방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ZET CLEANING (고압수에 의한 수세방법)</li> <li>- BRUSHONG (DRILLING BRUSH를 이용한 오염물 제거방법)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 세정액(통상 5~20% 농도의 ACID 용액)을 연속 순환시켜 오염물을 용해시키는 방법.</li> </ul>
주적용처	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TUBE TYPE HEAT EXCHANGER (물리적 힘에 의존하므로 해체와 청소가 쉬운 직선 부위에 주로 적용)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SHELL TYPE HEAT EXCHANGER</li> <li>- 반응기 JACKET COOLER</li> <li>- COMPRESSER COOLER(해체가 어렵거나 Mechanical Cleaning이 어려운 부위에 주로 적용)</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CLEANING 결과를 쉽게 판별.</li> <li>- CLEANING에 의한모재손상이 거의 없다.</li> <li>- 가장 일반적인 CLEANING 방법.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MECHANICAL CLEANING이 어려운 곡관부의 오염물 제거가 가능하다</li> <li>- 설비의 전면 해체 등이 필요 없다</li> <li>- 소요 경비가 크다.</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시간, MAN-POWER의 소모가 크다.</li> <li>- 설비의 해체 청소 조립에 장시간의 시간과 중장비 동원이 필요.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가배관의 설치 등 세정액 종류, 세정방법 등에 따라 부수 작업이 필요</li> <li>- 주로 ACID 용액을 세정액으로 사용하므로 세정 후 후처리가 불완전할 경우 CORROSION POTENCY가 높게 된다.</li> <li>- 부적절한 CLEANING 방법 채택시 치명적인 장애를 유발시킬 수 있다.(SUS 재질에 염산세정액 사용시 경우 등)</li> </ul>

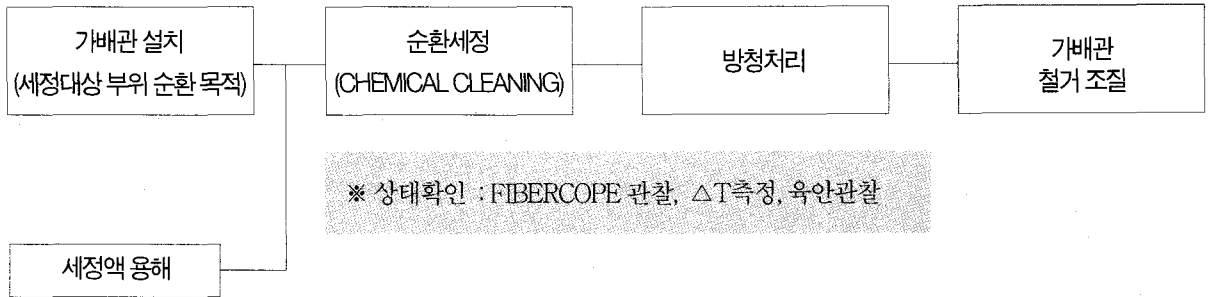
## 7. CLEANING 종류에 따른 PROCEDURE

### 가. MECHANICAL CLEANING



- ※ 해체와 조립에 중장비 동원 필요
- ※ 상태확인 : 육안관찰, FIBERSCOPE 관찰, ΔT 측정

### 나. CHEMICAL CLEANING



- ※ 상태확인 : FIBERSCOPE 관찰, ΔT 측정, 육안관찰

### 다. CHEMICAL CLEANING의 일반적 방법

SPEC.	DESCRIPTION		REMARK
ACID CLEANING	INORGANIC ACID CLEANING	- HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> 등의 STRONG ACID를 세정액으로 사용 ※ 주로 부식생성물 주체의 오염물 제거에 이용	- HIGH CORROSION POTENCY - SCC 원인
	ORGANIC ACID CLEANING	- CITRIC ACID, EDTA 등의 유기계 ACID 또는 CHELATING AGENT에 의한 세정방법 ※ 주로 CA-염 계통의 SCALE 등의 오염물 제거에 이용	- LOW CORROSION POTENCY
ALKALI CLEANING	※ SiO <sub>2</sub> SCALE 등 특수한 형태의 SCALE 제거에 이용되며, ACID CLEANING과 병용이 통례		-

다음호에 계속...