

CONTENTS



① 개요

② 설비 특성

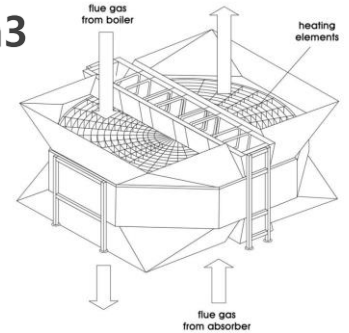
③ 열교환 튜브 손상 사례

④ 시사점

1. 개요

■ 탈황설비 GGH 열교환 방식 변경 필요성

- ◆ (배경) 석탄화력 미세먼지 배출저감 : 산업부-발전사 이행협약^(16.12), 충청남도 조례 제정^(17.7)
 - '26년까지 강화된 배출기준 준수를 위해 탈황설비 성능 보강 필요
 - * 강화된 배출기준 : SOx 25 ppm, NOx 15 ppm, 먼지 5mg/Sm³



■ 기존 회전형 GGH 열교환 방식 문제점

- ◆ (누설) 2% 정도의 배기가스 누설로 인해 탈황설비를 거치지 않고 연돌로 배출
 - 배기가스는 500 ppm 전후 SOx 농도를 가져 강화된 기준 만족이 어려움
 - ∴ 누설 배기가스 누출 방지를 위해 무누설(Non-leakage) 형태 GGH 변경 필요

■ 국내 발전사 화력 발전소 GGH Type 운영 현황

- ◆ (운영현황) 조사대상 49개 호기 : 회전형 28개, 무누설형 21개
- ◆ (운영추세) 대기 배출 허용기준 강화에 따라 환경설비 개선 공사 시 기존 회전형에서 무누설형으로 변경하는 추세임 (당진 #1~4, 영흥 #1~2)
- ◆ (서부발전) 10개 호기 모두 회전형 운영 중
- ◆ (남동발전) 12개 호기 중 10개 호기 무누설형 운영 중

발전사	발전소		용량	GGH 타입	비고
동서발전	당진화력	#1~#4	500 MW	무누설형	▶ 당진 #1~4 ① 회전식→무누설형 ② Reheater 튜브 ☑ 에너지 코팅 시행
		#5~#8	500 MW	회전형	
		#9~#10	1,000 MW		
남동발전	영흥화력	#1~#2	800 MW	무누설형	① 회전식→무누설형
		#3~#6	870 MW	무누설형	① 초기 Reheater 튜브 ☑ 에너지 코팅 미시행 (부식 손상 빈번 발생) → '16년 에너지 코팅 추가
	삼천포화력	#3~#4	560 MW	회전형	
		#5~#6	500 MW	무누설형	① 회전식→무누설형
	여수화력	#1~#2	340 MW	무누설형	

서부발전	태안화력	#1~#8	500 MW	회전형	
		#9~#10	1,050 MW	회전형	
중부발전	보령화력	#3~#4	500 MW	무누설형	① 회전식→무누설형
		#5~#8	500 MW	회전형	
	신보령화력	#1~#2	1,000 MW	회전형	
남부	하동화력	#1	1,018 MW	무누설형	
		#1~#8	500 MW	회전형	

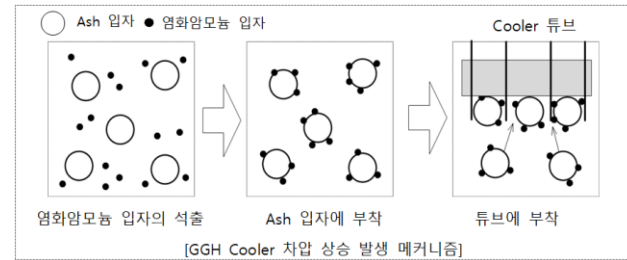
GGH Cooler 설비

2. 설비 특성

- (설비위치) 전기 집진기 전단 (주요역할) 배기가스 온도 냉각
- (설비구성) 호기 당 2개의 Unit, 개별 Unit은 Hot-Intermediate-Cold Section 구성
- (튜브타입) Fin 타입 튜브
- (주요손상) 침식, 차압, 부식 손상

- ❖ (침식) 배기 가스 중에 포함된 비산 재(Fly Ash)에 의한 침식
- ❖ (차압) 탈질설비에서 미반응된 암모니아와 배기가스 내 염화물 간 반응으로 염화암모늄이 생성 → 튜브 표면에 고착되어 차압 발생

- ▶ (1단계) NH_3 (암모니아) + HCl (염화수소) → NH_4Cl (염화암모늄)
- ▶ (2단계) 염화암모늄 + 수분 → Cooler 튜브 표면에 고착
- ▶ (3단계) 고착된 염화암모늄의 석탄 회 흡착 → 배기가스 통로 폐쇄



- ❖ (부식) 황산(H_2SO_4)의 응축에 따른 튜브 부식 환경 조성
 * 황산 노점 : 배기가스 내 황산 농도와 수분에 따라 변동

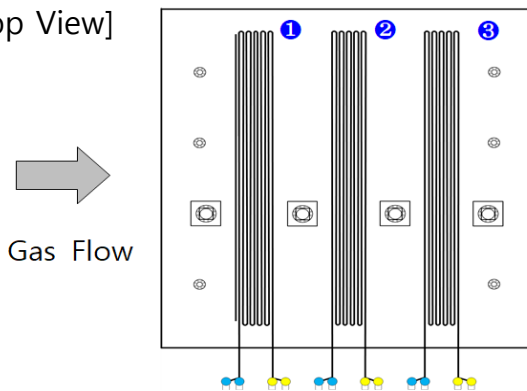
[Cooler 설계 조건]

구 분	설계 압력 (Design Pressure)	설계 온도 (Design Temperature)	운전 압력 (Operating Pressure)	운전 온도 (Operating Temperature)	유 량 (BMCR)
Cooler	14.5 barg	150°C	10.1 barg	111.3 °C	400 ton/hr
Flue Gas	-6,000 Pag	150°C	-5,312 Pag	138.0 °C	1,147 ton/hr





[Cooler 튜브 타입 및 규격]

구 분	Tube			Fin			Coating (Enamel)
	Type	Material	Size	Type	Material	Size	
Cooler	Fin	S-Ten1	38.1×2.6	Spiral	S-Ten1	1.6t×17H	×

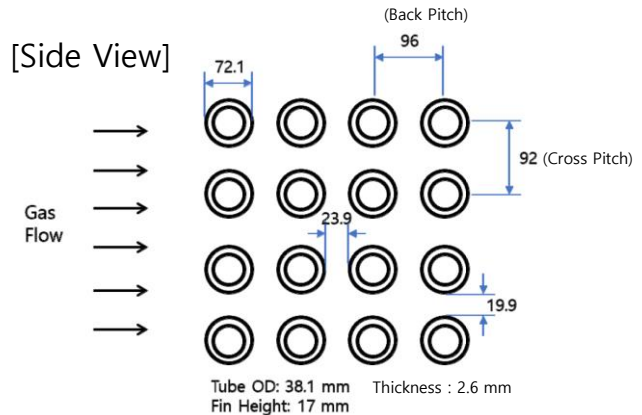
[Top View]



[Cooler 설비 배치도]

- ① Hot Section Bundle
- ② Intermediate Section Bundle
- ③ Cold Section Bundle
-  Ash Drain Nozzle
-  Test Nozzle
-  Outlet Header
-  Inlet Header

[Side View]

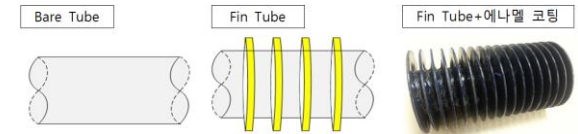


[Tube 간 간격]

■ (설비위치) 연돌 전단 (주요역할) 배출 배기가스 온도 가열

■ (설비구성) 호기 당 1개의 Unit을 가지며, Unit은 3Bundle 튜브로 구성

■ (튜브타입) 1st Bundle : Bare 튜브, 2nd ~3rd Bundle : Fin 타입 튜브+Enamel 코팅

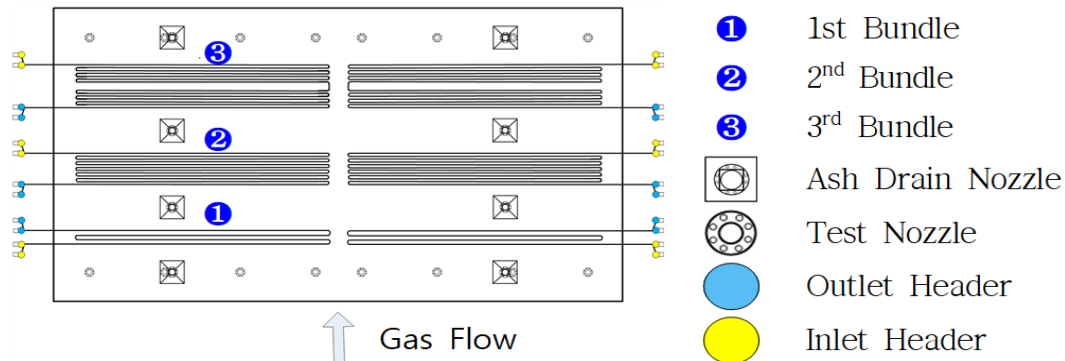


■ (주요손상) 차압, 부식 손상

❖ (차압) 흡수탑에서 비산된 슬러리가 튜브 표면 부착 → 배기가스 통로 폐쇄

❖ (부식) 응축된 황산 → 튜브 표면에 부착 → 저온부식 발생

[Top View]



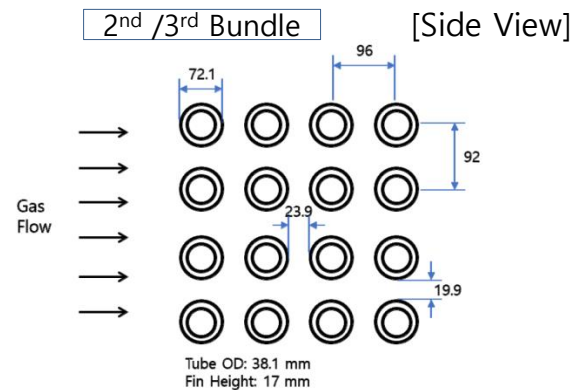
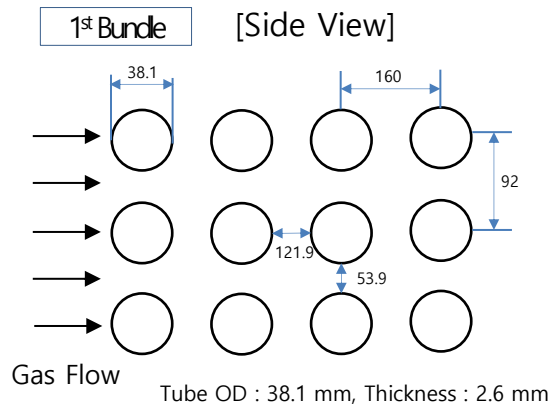
[Reheater 설비 배치도]

[Reheater 설계 조건]

구 분	설계 압력 (Design Pressure)	설계 온도 (Design Temperature)	운전 압력 (Operating Pressure)	운전 온도 (Operating Temperature)	유 량 (BMCR)
Reheater	11.4 bar	150°C	6.0 bar	111.3 °C	800 ton/hr
Flue Gas	1,589 Pa	110°C	506 Pa	90.4 °C	2,349.5 ton/hr

[Reheater 튜브 타입 및 규격]

구 분	Tube			Fin			Coating (Enamel)
	Type	Material	Size	Type	Material	Size	
1번들	Bare	SUS329J4L	38.1×2.6	-	-	-	×
2번들	Fin	ANCOR-HS		Spiral	ANCOR-S	1.6t×17H	○
3번들	Fin	ANCOR-S		Spiral	ANCOR-HS		○



[Tube 간 간격]

■ (사례-1) Hot 및 Cold Bundle 연결관 용접부 부식 손상

- ◆ (배경) 계획예방기간 중 Gas Cooler에 쌓여있는 Ash 제거를 위해 수세정 실시 후 완전한 건조 과정이 없이 장기간 방치
 - * 제작사 운전 매뉴얼 상의 건조 규정 : 24시간 이내 건조 권고
- ◆ (위치) Hot Bundle과 Cold Bundle 연결관 용접부 (튜브 재질 : ANCOR-H)
- ◆ (원인) 젖은 Ash Slurry가 튜브에 부착된 상태로 유지 → 튜브 용접부 피팅 부식 진행

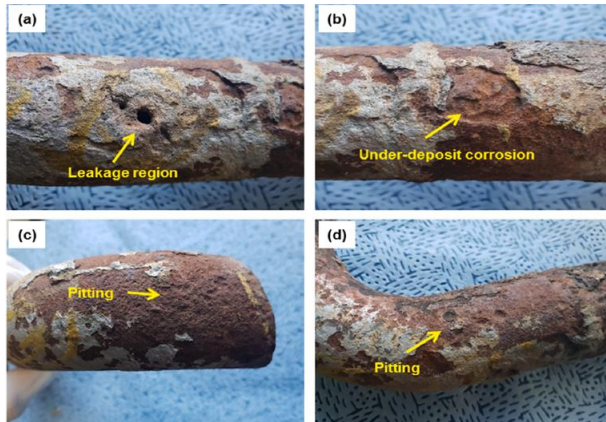


[부식에 의한 튜브 파손 상태]

[튜브 표면 부식물 성분분석 결과]

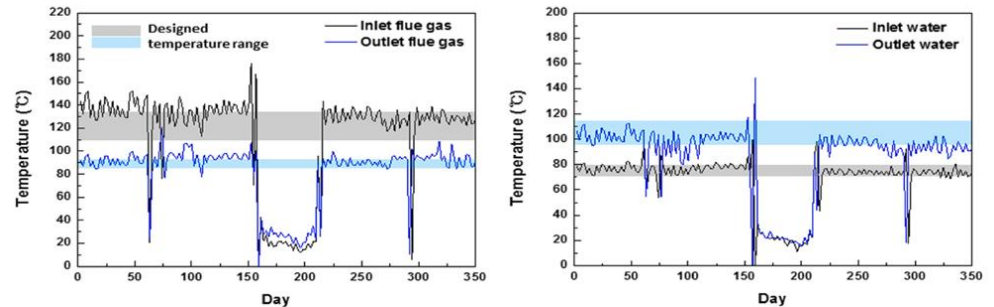
(사례-2) U-Bend부 부식 손상

- ◆ (배경) '15.7 튜브 번들 Cleaning 작업 중 U-Bend 곡률부 누설 확인
- ◆ (특징) 열 교환 매체 온도 운전 이력 확인결과, 간헐적으로 염산 노점 온도 이하 범위 운영
* 황산 노점 온도 : 138 °C, 염산 노점 온도 : 47°C
- ◆ (원인) 튜브 표면 온도가 산 노점 이하로 저하 → 황산 또는 복합산(황산+질산)이 튜브 표면에 응축 → 저온 부식 유발

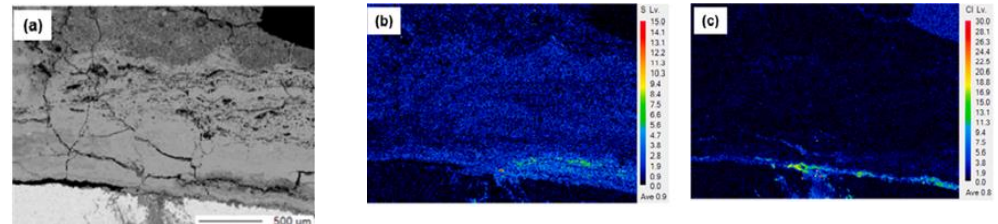


[부식된 U-bend 영역 사진]

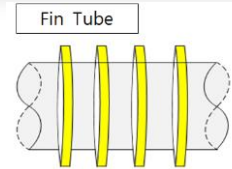
(a) 누설부, (b) Under deposit 부식 (c) 피팅 부식



[GGH 배기가스와 냉각수의 실제 운전 온도]



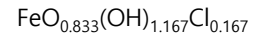
[부식 생성물 대상 성분검사(매핑 결과) (b) 황, (c) 염화물]



■ (사례-3) Fin 및 석고 성분 분석

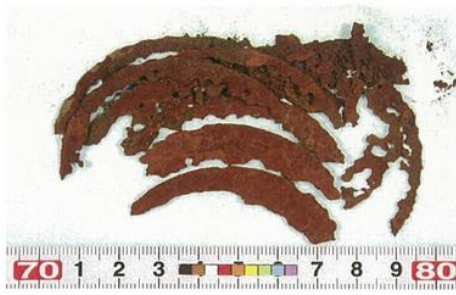
- ◆ (배경) Reheater에서 수집된 Fin 파편과 석고를 대상으로 사용환경 분석을 위한 성분분석 시행
- ◆ (특징) Fin 파편 분석 결과 염화암모늄 및 Akaganeite 검출
SCR : Selective Catalytic Reduction(선택적 환원 촉매 설비)
- ◆ (원인) 염화암모늄 : 탈질설비(SCR) 미반응 암모니아+연소가스 내 염화물 반응

Akaganeite : 염화암모늄 내 염화이온+튜브+수분 반응으로 생성된 녹



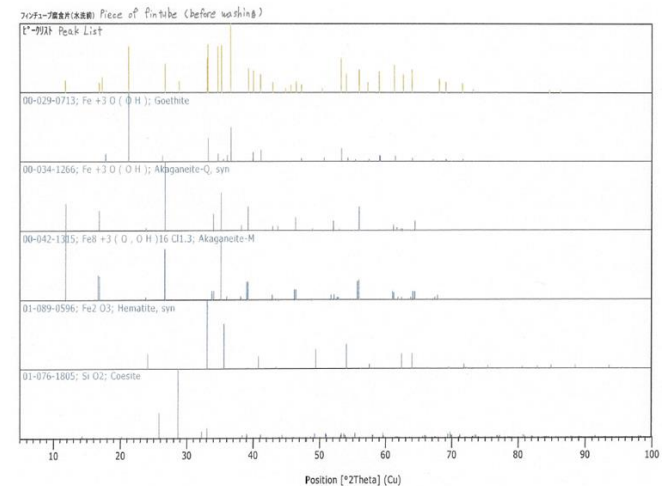
[염화암모늄] (생성) 100 °C 이하 온도 범위 (특징) 가스 흐름에 의해 쉽게 박리

☞ Reheater를 통과하는 배기가스 온도는 100 °C이하이기에 Akaganeite가 생성되며, 생성→박리 과정의 반복으로 부식이 진행



[Fin 파편 사진]

[석고 사진]



[Fin 파편 화학조성 분석 결과]

4. 시사점

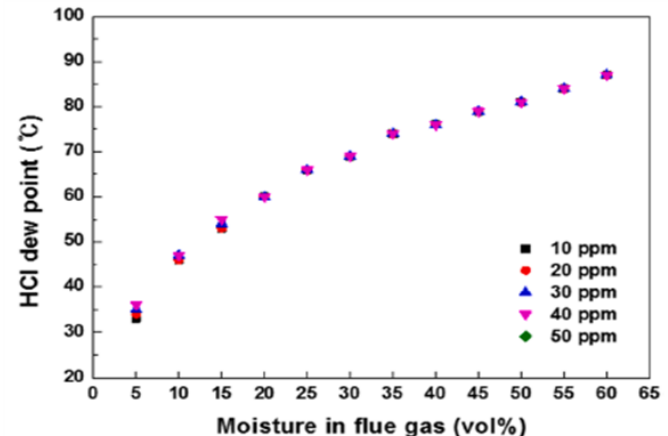
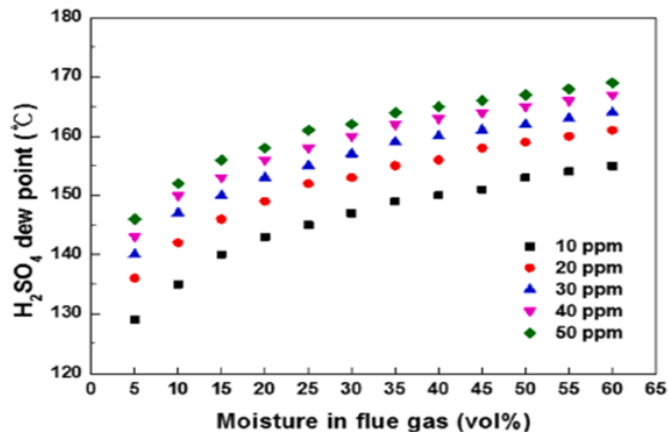
■ 적정 암모니아 공급 및 열 전달 매체 온도 관리

- ◆ (적정공급) 탈질설비에서 미반응된 암모니아는 염화물과 결합하여 염화암모늄이 되어 Cooler/Reheater 튜브에 부착됨으로서 차압을 발생시킴

☞ 과도한 암모니아가 공급되지 않도록 주의

- ◆ (온도관리) 열 전달 매체의 온도가 설계 조건 이하로 낮아질 경우 자칫 염산 노점 온도 범위에 도달하여 튜브의 부식이 가속화될 수 있음

☞ 운전 중 열 전달 매체의 온도 관리 주의



[배기가스 내 수분, 황산화물, 염산의 농도에 따른 황산 및 염산 노점]

■ Cooler 튜브 수세정 금지 및 제매기 운전 주의

- ◆ (수세정) 튜브 표면에 잔류되어 있는 황/염화물이 수세정 시 공급되는 물과 반응할 경우 각각 황산과 염산이 되어 운전 중 튜브 부식 유발할 수 있음
- ◆ (제매기) Cooler 설비에 설치된 제매기를 적절하게 운영하여 운전 중 쌓여있는 Ash의 제거가 가능할 것으로 보이나, 제매기의 공급 증기를 철저히 관리하여 습증기의 공급으로 부식 환경이 조성되지 않도록 주의 필요

■ 부식 발생 가능성 여부 판단 기준

- ◆ 부식에 관한 판단 기준은 배기가스 온도가 아닌 튜브 표면 온도이며, 손상사례에서 확인된 바와 같이 Cooler/Reheater 모두 복합산(황산+염산)에 의한 부식 진행

■ 동절기 장기 정지 시 열 전달 매체 배수 상태 철저 관리

- ◆ Cooler/Reheater 튜브 배열은 수평형으로 배수 시 냉각수가 잔류될 수 있으며, 특히 동절기에는 잔류 수의 동결로 튜브 파열이 발생할 수 있어 철저한 배수 관리 필요함

