
TECHNICAL PAPER OF FIN TUBE COOLER CLEANING

www.skpchem.com

- 개요
- Finned tubes의 부착물 및 그 영향
- 부적합한 세정 방법에 의한 핀 튜브의 손상
- 세정 작업 절차
- ECOS-R1에 의해 용해되는 deposit의 용해 과정
- 세정 작업 수행 Gallery
- Ecos-R1에 의한 세정 작업 결과 및 온도 Trends 의 분석 및 평가
- 냉각수 분사에 의한 탄산염의 형성
- 알루미늄 합금의 부식 메카니즘



■ 개요

SKP의 세정제는 아래와 같은 이점과 결과를 제공합니다.

- ❖ 세정 공정은 장치의 정상적인 운전 중에서 온라인으로 수행되며, 공정 운전을 정지 할 필요가 없습니다.
 - ❖ 외부 튜브 표면으로 부터의 스케일 제거 및 오염물을 제거하며, 열효율 (열 전달)이 향상됩니다. 여러 개의 Fan이 가공 될 경우 그 중 일부를 끌 수 있습니다.
- 결과적으로, 공정 출구 온도 감소, 생산 속도 증가 및 가변 속도 모터는 작동 에너지 소비를 줄여줍니다.

1. 고압 수세로 인한 fin tube에 물질적 손상이 없습니다.
2. CO₂ 세정으로 인한 알루미늄 및 구리합금 재료의 fin tube에 열적 충격을 주지 않습니다.
3. 알칼리 세정액을 사용하지 않아 fin tube 부식 및 화학적 손상을 주지 않습니다.
4. 주변을 오염시키지 않고 세정 폐액은 낮은 COD 와 중성의 PH로 추가 처리할 필요없이 자체 폐수 처리하면 됩니다.
5. 유해 화학 물질을 포함하지 않습니다. (부정적인 환경 영향 없음)
6. 튜브, 핀, 전기 모터, 계측기에 손상을 주지 않습니다.
7. 많은 산업현장에서 검증되고 입증되었습니다.
8. 모든 협잡물과 부식 요소를 제거한다.
9. 안정된 pH의 화학 조성으로 모든 금속 재료와 반응하지 않습니다. (알루미늄, 철, 구리합금 etc.)

주요 이점

- 냉각 성능 및 공정 효율 증대
- 생산량 증대 및 생산 수율 의 증가
- 장치의 공정 수명 연장
- 팬 전력 감소로 인한 에너지 절약 (가변 속도 및 피치 제어 모터에서)
- 컬럼 O / H 의 온도 프로파일 감소 및 용이한 온도 조절
- 유지 보수 비용 절감

세정공정은 안전하고 친 환경적입니다

- (ON-Line or Off-Line 에서 실행)
- 수년간의 R/D 및 현장 경험을 통해 개발되었음
 - 세정제는 유해 화학물질이 아니며, 무독성, 비 위험물, 비 부식성, 불연성 입니다.
 - 모든 금속재료 및 모터, 계장에 손상이 없습니다.
 - 세정제는 핀튜브 사이로 분산되며, 운전 중 세정은 스팀처럼 보입니다.
 - 세정제는 모든 유형의 공냉기와 금속재질에 호환됩니다.

AFC를 깨끗이 관리해야 하는 이유

- 협잡물이 부착된 핀튜브는 열교환기의 냉각 효율을 감소시킵니다.
- SKP의 세정제 및 방법은 부착된 오염 물질을 안전하고 철저하게 제거합니다.
- 세정 후 냉각 장비는 최적의 수준에서 운전하기 시작하고, 그 결과 여러 재정적 이익을 가져옵니다.
- 청결한 열교환기는 에너지 요구량이 적어 팬을 끄거나 천천히 작동시킬 수 있습니다.
- 장비 수명이 연장되고 가장 중요한 것은 생산량을 늘릴 수 있다는 것입니다.
- Deposit은 습기와 오염된 대기에 장기간 노출되어 Fin의 표면 부식을 심화시키는 원인이 됩니다.

Fan Cooler 최적의 유지 관리에 의한 수익

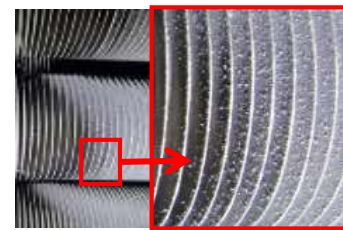
- 에너지 절약 비용 산출은 운전 자료에 의해 정확히 계산 될 수 있습니다.
- 깨끗한 열 교환기가 최적의 속도로 작동하면 팬을 끄거나 일부를 줄일 수 있습니다.
- 세정 결과는 생산 능력 증대로 이어집니다. * SKP의 고객은 장비가 최고 효율로 돌아오며, 큰 비용을 절감할 수 있습니다.
- 에너지 절감 및 생산 수율을 기반으로 투자수익율을 신속하게 결정할 수 있습니다.

증류 타워에 있어서 안정된 환류온도의 유지는 응축물의 수율 및 품질의 향상을 가져오며, 더 나아가, 낮은 온도는 Feed rate를 증가시킬 수 있습니다. 어떤 공정에서는 Flare로 방출되는 off-gas를 줄여주어 막대한 원가절감을 가져 옵니다. (첨부된 온도 trend graph 참조)

SKP는 환경 친화적이고 효과적인 세정 공정을 제공합니다.

- 당사의 세정제는 핀튜브 재질을 전혀 손상하지 않으며, 인체에 노출되어도 영향을 주지 않습니다.
- 저압으로 순환되는 세정제는 핀튜브의 틈 새에 침투하여 부착물을 연속적으로 제거하고 녹여냅니다.
- 당사의 화학 세정은 장치의 손상없이 먼지, 부착물 및 부식 요소를 완전하게 제거합니다.
- SKP 세정제는 독성이 없는 비 유해 물질이며, 운송의 규제가 없습니다.
- 본 세정제는 식품 첨가물을 기반으로 제조된 안전한 세정 조성물로 구성되어 있습니다.
- SKP 핀튜브 세정제는 다양한 산업 시설에서 테스트되고 입증되었습니다.
→ .(HDO, ExxonMobil, Lotte chemical etc.)

■ Finned tubes의 부착물 및 그 영향

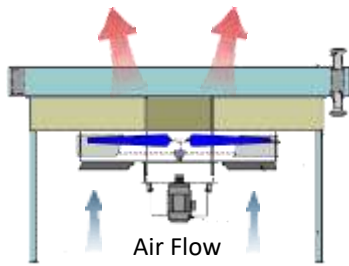


Louver, 팬 피치 인버터 모터에 의한 온도 제어 방식
파울 링으로 인해 과부하가 발생하면 장치가 손상되고
더 많은 전류가 소모됩니다

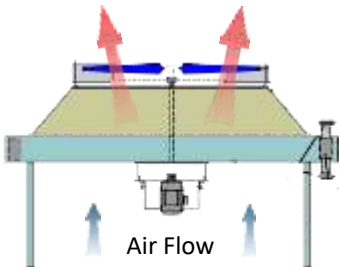
Finned tubes에 부착된 다양한 형태의 협잡물

부착 협잡물은 직접 및 간접적으로 부식을 일으킵니다.

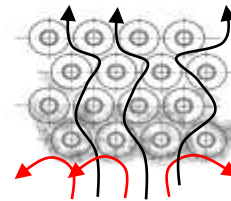
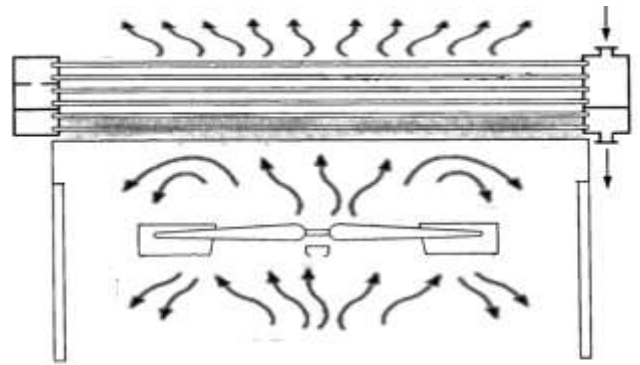
부착에 부식성 물질이 포함되어 있으면 직접적인 침해를 일으킵니다.. 응집 부착물과의 상호 작용은 장치의 폐기를 초래합니다. 깨끗하게 유지한 표면은 열효율의 개선 뿐 만 아니라 장치의 수명을 연장을 가져옵니다.



Forced draft fan



Induced draft fan



Fouling 된 번들 하단부 공기의 흐름

강제 통풍 공기 냉각기에서는 차가운 공기가 핀 튜브 번들의 아래쪽을 통해 불어 냅니다. 유도 통풍 공기 냉각기에서는 차가운 공기가 핀 튜브의 아래쪽으로 흘러 들어갑니다.

어느 쪽이든, 도로 쓰레기, 죽은 나방, 축매 미립자 및 기름기가 많은 먼지가 튜브의 아래쪽 열을 따라 쌓입니다. 이와 같은 튜브는 기류에 대한 저항이 가중됩니다. 튜브 배열 사이로의 공기 흐름을 방해하여 냉각효율이 감소됩니다.

■ 부적합한 세정 방법에 의한 핀 튜브의 손상

❖ 고압 세척은 핀튜브에 손상을 주는 부적합한 방법입니다

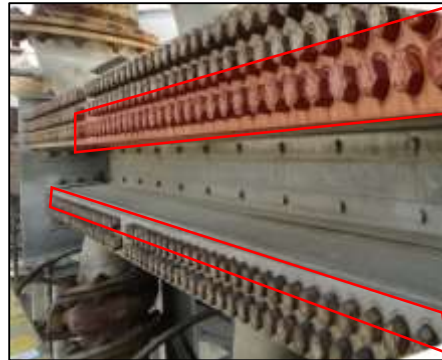
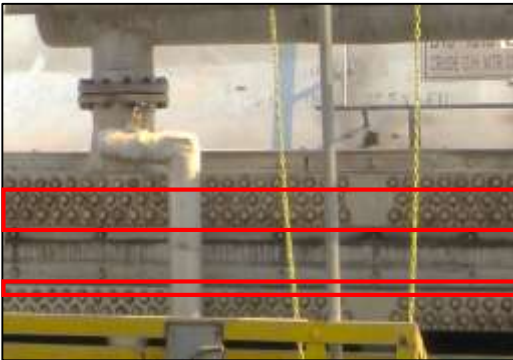
- ✓ 고압 분사에 의해 핀이 접히거나 부러질 수 있다.
- ✓ 특히 오래 사용된 Fin tube의 경우 일부 산화된 Fin이 부서져 과도한 손상을 일으킨다
- ✓ 세정 후 검사에서 표면 검사는 깨끗하게 보이지만, 보이지 않는 냉각장치 안쪽에는 부착물이 잔류되면, 이는 대기의 접촉을 방해하여 월활한 냉각 효율을 얻기 어렵게 된다.
- ✓ 고압 세척 방법으로는 금속 Fin 의 표면에 형성된 금속 산화물 및 수산화물 (ex: aluminum oxide, aluminum hydroxide)는 근본적으로 제거되지 않는다. 이러한 산화물 및 수산화물은 부식을 심화시키는 요인이 된다.
- ✓ CO2 블라스팅 방법 역시 물 분사와 비슷한 단점이 있으며, 냉각 장치의 안쪽에 있는 Fin tube의 세정에는 부적합하다

❖ 알칼리 세정 방법

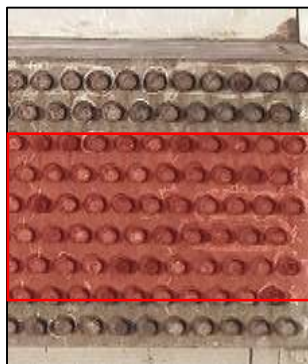
- ✓ 일반적으로 화학세정을 제공하는 회사의 화학 세정제는강 알칼리 용액에 계면활성제를 첨가한 세정제를 핀튜브 상부에서 뿌려주는 방법이다. 그리고, 즉시 다량의 물로 씻어낸다
- ✓ 세제의 성분(Caustic soda)은 부착물 사이로 침투되어, 알루미늄 핀의 표면과 반응하여 거품이 더욱 발생하며, 표면이 식각 되면서, 동시에 부착물질이 제거되는 공법이다.
- ✓ 알루미늄소재는 양쪽성 금속이며 산 또는 알칼리 환경에서 쉽게 부식된다.세정 후에 외관으로보기에는 깨끗이 한 것처럼 보일 수 있지만, 실제로는 금속 부식이 일어난 것이며, 장치의 수명을 단축하게 된다.

<주의 사항> Fin의 재질은 Aluminum alloy(or Copper alloy) 이며, 특히 알루미늄 소재는 산 및 알칼리성 Chemical 에 취약한 양쪽성 금속이므로, 잘못된 세정제의 선택은 심각한 장치의 손상을 초래하게 된다.

❖ 번들의 형태에 따른 종래의 세정 방법으로 완벽한 세정의 수행이 불가



더블 번들의 red ling 부분의 tube 열은 고압 수세 등 물리적 세정 방법을 사용하여 세정 할 수 없습니다.



다수개의 배열을 갖은 tube bundle의 중앙 부위는 고압 수세 등의 물리적 세정 방법을 사용하여 세정 할 수 없습니다.

■세정 작업 절차

준비 작업

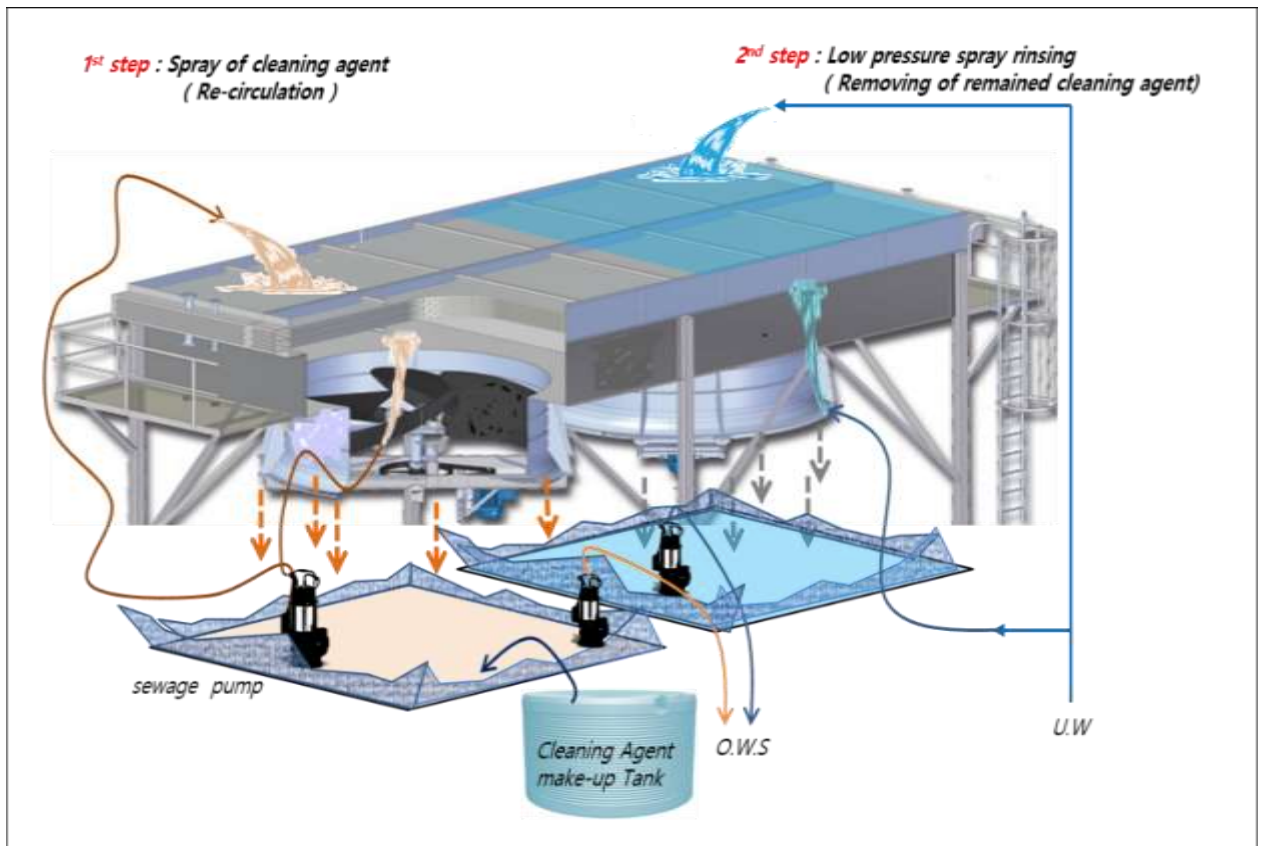
- fin tube의 규격 및 상태를 점검하고, 세정제의 사용량 산출한다.
On-Line 세정의 경우 Operation Condition을 고려하여, 세정 절차를 계획한다. (fan의 일부를 끄고 단계적으로 부분적 세정을 시행한다)
- 세정 작업팀은 공정의 안전 작업 지침 및 세정 절차의 허가(permit)를 득하고, 세정 장치 및 세정제를 준비한다.
- 세정을 위한 세정제 및 Utility (water , Power) 를 준비하고, 장치 주변 및 작업 공간에 차단물(barricade)을 설치한다. 필요할 경우 스캐폴드를 설치한다.
- 세정제의 순환세정방법 적용을 위해 fin tube bundle 하부에 water pool을 설치한다.
- 세정 작업 수행시 보안경, 마스크 , 보호의를 착용한다.
- 세정 작업 시작에 앞서 fan motor를 끄고 Power Breaker를 Off하고,
Local switch에 잠그고 Off Tag를 붙인다.

세정 작업

1. 물에 희석된 세정제를 fin tube bundle 상부의 표면 전면에 걸쳐 Nozzle을 통하여 낮은 압력으로 spray 하여 하부로 흘러 내리게 하여, fin tube를 충분히 적시게 하여 협잡물을 용해시켜 아래의 water pool 로 흘러 내리게 한다.
2. 상부의 세정제 Spray가 완료되면, 하부의협잡물이 잔류된 Fine tube를 순환 세정액으로 Spray 세정을 시행한다. 이때, Spray Nozzle의 압력은 Fin이 손상되지 않도록 낮은 압력으로 넓게 분사되도록 한다. 세정 상태는 실시간으로 육안 확인하면서 수행한다.

Rinsing

Fin tubes의 세정 작업이 완료되면, 저압의 용수를 분사하여 잔류된 세정제 및 협잡물을 제거한다, 세정액 및 수세수는 규정에 따라 처리된다. 일반적으로 친환경적으로 구성된 세정제는 폐수 처리의 곤란함이 없으며, Sewer(O.W.S)로 배출하여 폐수처리공정으로 보내 처리한다.



Schematic of cleaning method with ECOS-R1

■ 세정 작업 수행 Gallery



Waterproof canvas and water pool (Preparation for circulating cleaning)



Top spraying



bottom spraying



bottom spraying



Top spray , online-cleaning



Chemical dosing work



Top side water rinsing

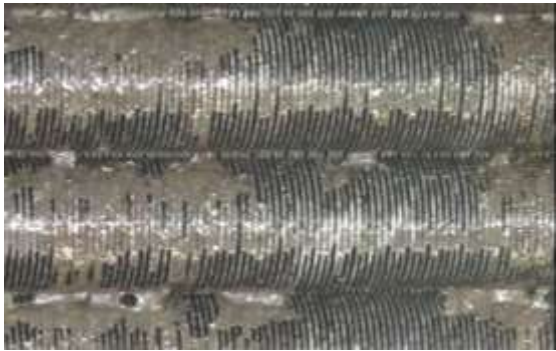


Waste water drain

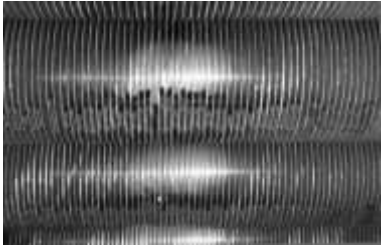
■ ECOS-R1에 의해 용해되는 deposit의 용해 과정



1. 협잡물로 Fouling 된 fin tubes



2. 협잡물이 ECOS-R1에 의해 용해되는 모습



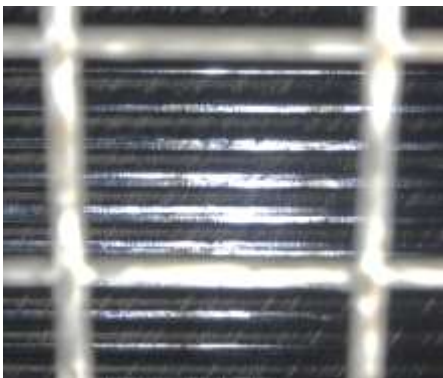
3. 세정 후 완벽하게 협잡물이 제거된 모습

핀튜브 세정은 물리적 및 화학적 방법에 의한 손상이 없어야 하며, 튜브의 모든 열에 전체적으로 작용하여 협잡물을 용해하여 제거하는 기술이 바람직하다.

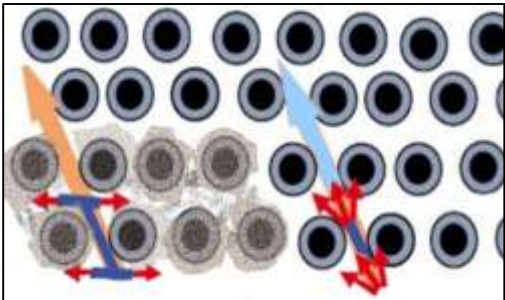
번들 아래에서 통과한 빛을 보고 핀 튜브의 상태를 시각적으로 확인 할 수 있다



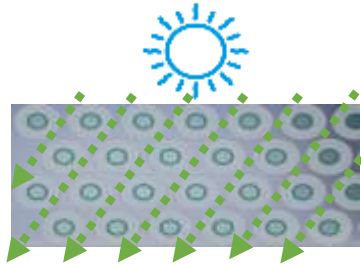
Before cleaning : tube 열 사이로 빛이 통과 되지 못함



After cleaning : tube 배열 사이로 빛이 투과됨



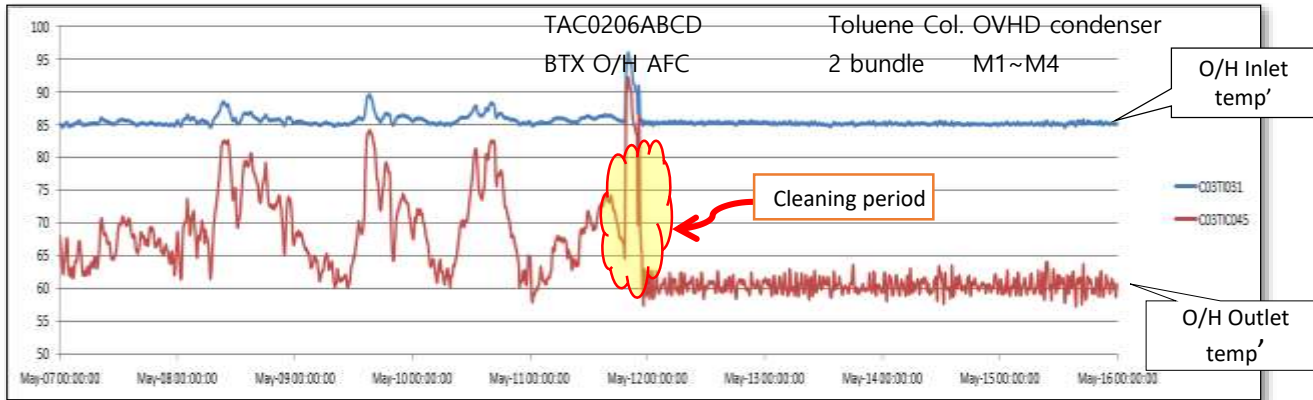
공기 흐름 : Fouled tubes VS clean tubes



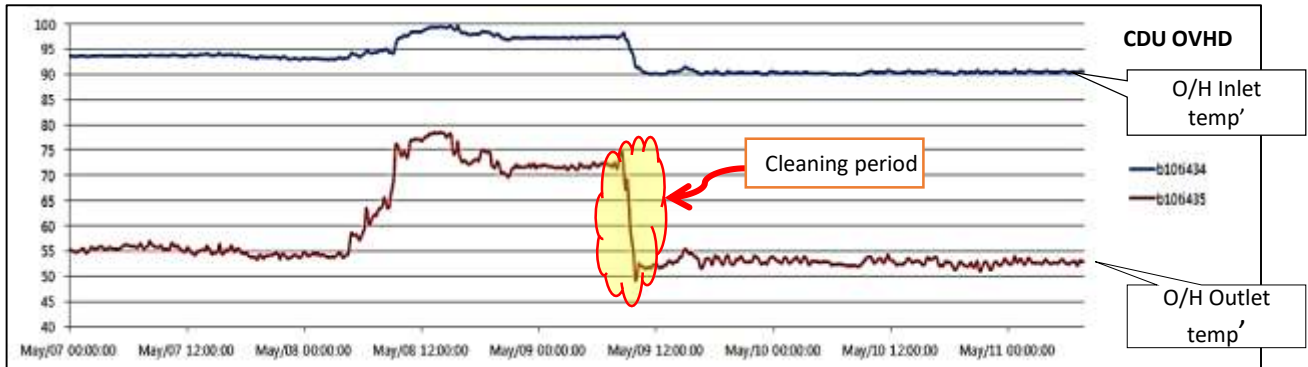
세정 상태를 대각선으로 보아 확인 할 수 있다

■ Ecos-R1에 의한 세정 작업 결과 및 온도 Trends 의 분석 및 평가

❖ Toluene column Cleaning 시행의 예 : Temp; Trend 확인 결과 안정된 온도 분포를 확인



❖ CDU O/H Cleaning 시행의 예 : Temp; Trend 확인 결과 안정된 온도 분포 및 온도 하강을 확인



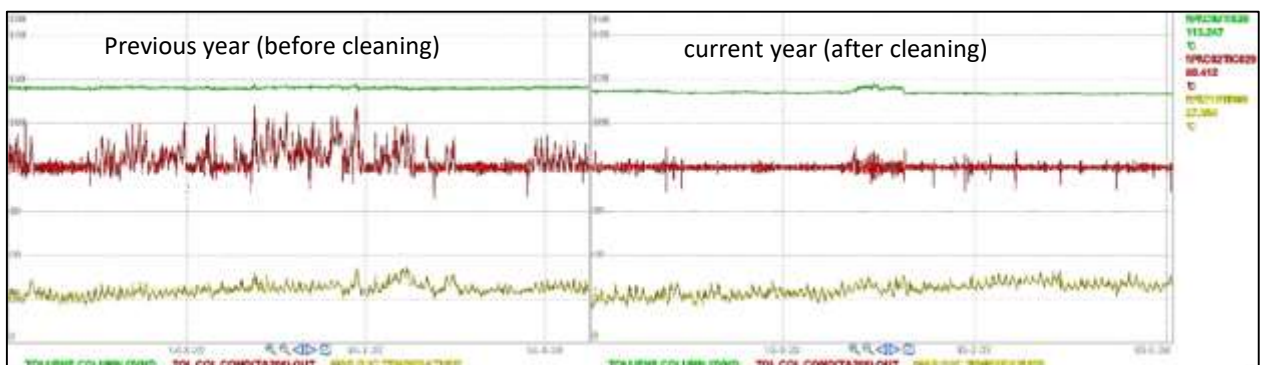
➢ **Column O/H Reflux 유량 및 Feed Rate의 증가 확인** : Feed Rate를 증가 시킴에 있어 충분한 O/H Reflux Flow는 필수적이며, column O/H vapor load를 감소시켜 안정된 Operation을 가능케 하므로 생산량 증가의 근원이 된다.

➢ **Column O/H의 stable 한 온도 Control 확인** : Over Load의 경우 Temp' Bouncing을 초래한다. 또한 accumulator product의 품질향상 효과가 있다.

➢ **product Cooler의 out-let Temp'의 확인** : products storage tank 의 적정온도 유지

Compared to the previous and current year

OVHD Column before Vs After Cleaning → Temperature trend is stable, No bouncing



Product Condenser Column before Vs After Cleaning→ Temperature is Down



적용 사례

Exxon Mobil OVHD AFC cleaning results and photos (ECOS-R1)

Below is the AFC Fin tube banks before Cleaning



Below is the AFC Fin tube banks after Cleaning



	<u>Max before</u>	<u>Max after</u>	Delta T	<u>Min before</u>	<u>Max after</u>	Delta T
E-105						
Bank 1	85.84	67.04	-18.80	51.74	44.19	-7.55
Bank 2	77.37	60.33	-17.04	48.06	41.29	-6.77
Bank 3	89.90	70.07	-19.82	56.24	51.94	-4.30
Bank 4	84.42	67.06	-17.36	48.89	47.31	-1.58
Bank 5	86.33	70.55	-15.78	65.15	62.87	-2.28
Bank 6	91.60	71.28	-20.31	71.35	62.17	-9.18
D-103 accumulator	<u>Max before</u>	<u>Max after</u>	<u>Delta T</u>	*All temperature in °C Data is the trend I pulled out from 2 days of observations.		
	80.73	70.08	-10.65			
	<u>Min before</u>	<u>Min after</u>	<u>Delta T</u>			
	55.69	57.97	2.27			
	<u>Average before</u>	<u>Average after</u>	<u>Delta T</u>			
	72.14	65.39	-6.76			

ExxonMobil

Customer Message

"The individual banks cleaning looks effective by the significant reduction in max outlet temperature. I am convinced this is an important step to bringing down the D-103 accumulator temperature (Also shown). Thank you for the hard work during this period! This results has served us well to identify potential applications for this chemical cleaning."

■ 냉각수 분사에 의한 탄산염의 형성



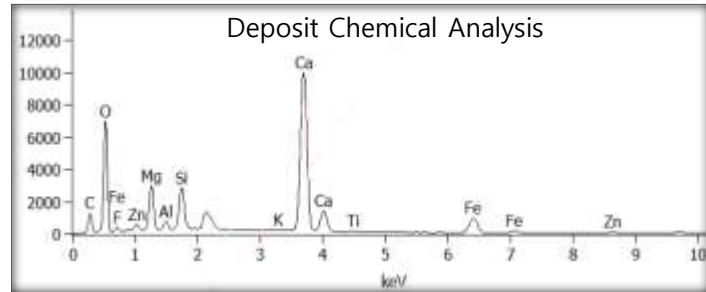
정상적인 finned tubes의 표면



탄산염이 축적되고 있는 finned tubes



사용 불가능한 finned tubes



Calcium (CaCO ₃)	-----	62.64wt%
Magnesium (MgCO ₃)	-----	19.59wt%
Silicon (SiO ₂)	-----	9.40wt%
Aluminum (Al ₂ O ₃)	-----	1.38wt%
Iron (Fe ₂ O ₃)	-----	5.00wt%
Titanium (TiO ₂)	-----	0.40wt%
Zinc (ZnO)	-----	1.49wt%
Potassium (K ₂ O)	-----	0.10wt%



탄산염 형성의 예시
열교환기의 온도상승을 막기 위하여 AFC 번들 상부에 용수를 분사할 경우 용수에 함유된 미네랄 성분이 핀 튜브 표면에 축적되어 열 교환 효율을 급격히 저하시키고, 심하면 열 교환 기능을 상실하게 되는 결과를 초래한다.

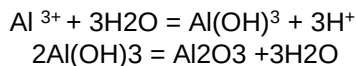
물이 코일에서 증발하면 미네랄을 남겨두고 시간이 지남에 따라 표면에 단열재와 같은 역할을 합니다. 미네랄 성분이 없는 물을 사용한다 하더라도 시간이 지남에 따라 물에 지속적으로 노출되면 핀튜브는 부식되어 열을 제거할 수 있는 표면을 잃을 수 있습니다.

■ The mechanism of corrosion of aluminum alloy

알루미늄소재는 양쪽성 금속으로 산 또는 알칼리 환경에서 쉽게 부식된다.

finned tubes 의 표면은 Al₂(OH)₃와 Al₂O₃로 변환되어 열 전달율을 감소시키고, Deposits와 더불어 열전달 효율을 급격히 저하는 원인이 된다.

산화 반응식



Finned tubes에 축적된 dust, greasy dirt는 산성의 황사, 산성비 그리고 수분 의해 부식을 촉진하므로, 주기적인 세정을 실시하여 부식 환경 요인을 제거하여야 한다. 세정을 실행함에 있어 매우 중요한 것은 사용하는 세정제는 알루미늄 소재와 전혀 반응을 일으키지 않을 뿐 아니라, 린스 후에 일부 세정제가 잔류하더라도, 고온 및 저온에서 부식을 일으키지 않는 화학약품을 사용하여야 한다.

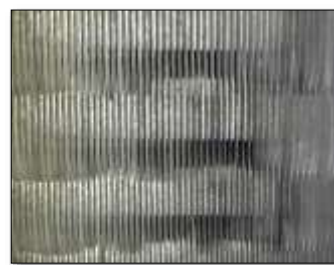
표면 상태의 비교 → 거친 표면은 쉽게 헹잡물이 쌓인다



세정 후 광택 있는 표면



세정 후 광택이 없는 표면



손상된 표면은 세정으로 복구되지 않는다.

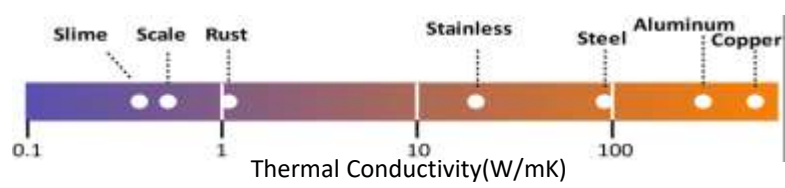
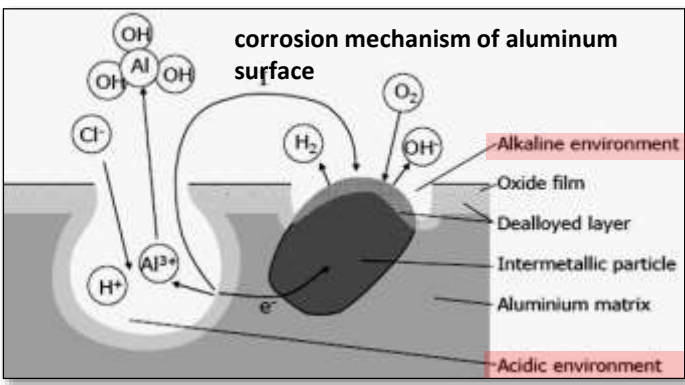


부식으로 얇아진 핀은 부스러지기 쉽다

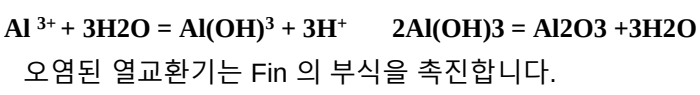
❖ 알루미늄 합금의 화학적 성질



세정 관리가 미흡 하거나, 또는 부적합 세정제 (예를 들면, 가성소다 함유 세척제)를 사용했을 경우의 부식된 Finned Tubes의 부식 상태



열 전도율	Metal	Aluminum alloy	: 235
W/(m2 · °C)	Deposits	Aluminum Oxide, fused(Al2O3)	: 3.60



알루미늄 산화막이 수분을 함유한 공기와 접촉시에는 장벽층 산화막이 열화되면서 틈이 발생하고 이곳에 침투한 산소가 물의 OH기 가 알루미늄과 반응하여 새로운 다공층 산화막이 장벽층 산화막위에 성장하게 된다. 그 결과 대기중의 알루미늄 금속표면에 존재하는 산화막의 전체 두께는 20 ~ 100 Å에 이르게 된다. 고순도 알루미늄의 경우 불순물이 없는 20 ~ 30 °C의 이온 교환수 내에서는 물과의 반응은 매우 느리게 진행되어 거의 변화가 없으나 수온이 높은 경우에는 일정시간 경과 후 상기 식과 같이 표면에서 수소가스가 발생하면서 산화막이 부정형의 수산화 알루미늄으로 변화하면서 막 두께가 증가하게 된다. 수화된 산화 알루미늄은 보호막(부동태)의 효과는 전혀 없으며, 오히려 부식 요인 물질을 포집하여 산화를 촉진하는 매개체가 된다.

40 ~ 60 °C에서 산화막내의 수분 함유율은 35 ~ 70%에 이르며 부정형의 Al(OH)3가 형성된다. pH(수소이온지수) : Al은 중류수에서보다 산(酸) 또는 알카리에서 더 빠른 속도로 부식이 진행된다. 그리고 산(酸)에서의 부식 속도는 음(陰) 이온의 성질에 따라 달라진다. 알루미늄합금의 pH에 따른 부식속도는 4.5이하 또는7 이상의 pH값에서 부식속도가 급격히 증가한다. 유해이온 : Al은 수분 및 OH-, Cl- 등의 음(陰)이온 뿐 만아니라 Cu2+, Fe+3 등의 양이온에 의해 서도 크게 부식이 촉진된다. 따라서, 임의로 정제되지 않은 용수(특히, Cl 이온이 함유된)를 증발잠열을 이용한 냉각효과를 기대하여 AFC에 분무하는 것은 바람직 하지 않다. 더 나아가, Ca, Mg이온이 함유된 물을 사용하면, 탄산염이 finned tubes 표면에 축적되므로 피해야 한다
