

冷却水系統의 水側 Fouling 및 Scale

Albert Y. Chong · 崔 昌 訓*

Water side Fouling and Scale in Cooling Water System

Albert Y. Chong and C. H. Choi

序 說

冷却水 系統에서 水側(water side)의 퇴적물 形成은 冷却水 管理者나 生産을 담당한 運轉者에게 均一한 製品을 生産하고 運轉效率을 높이는데 主要한 觀心事가 되어 왔다.

그러나 過去에는 6個月 내지 12個月간 運轉後 定期 보수를 하므로서 비교적 사소한 문제로 다루어 왔고, 간단한 기계적 또는 化學的 洗滌으로서 문제를 해결하 여 왔다.

오늘날에는 보다 長期的으로 계속 運轉하는 경향이 있고 그 期間은 24 내지 36個月 또는 그 以上 기계가 운전될 필요가 있게 되고 그래야만 企業 수익을 充分 히 올릴 수 있다.

이렇게 長期的으로 기계가 계속 운전되고 있는 이유 를 열거하면 아래와 같다.

1. 工程側의 技術向上—즉 工程條件의 改善 및 적절한 ANTI-FOULANT의 開發
2. 定期 보수의 회수를 줄여 운전비와 보수비의 절 감을 期하려는 意圖
3. 같은 裝置로 보다 많은 生産을 하도록 하는 企業 的 意圖.
4. 궁극적으로, 총체적인 管理維持費를 절감하려는 意圖에 있는 것이다.

또한 公害因子인 배출水의 量을 줄이고 工業用水를 절약하며 用水處理劑(Corrosion) 및 Deposit Inhiror (等) 를 절감키 위하여 냉각수 계통의 농축배수 (Cycle of concentration) [보충수와 Blowdown 水量의 比]를 올리는 方向으로 하고 있다.

또한 전체의 用水처리비를 절감키 爲하여 Clarified water 를 쓰는 대신에 原水(Raw Water)를 그대로 보충 수로 쓰는 경향이 있다.

이러한 重要한 因子들은 종전에 부수적인 사소한 問 제였던 퇴적물 축적 현상이 오늘날에는 重要하고 큰 問 제로 대두되고 있다.

기기의 운전效率을 向上시키고 에너지 절감을 위하 여 부식관리보다 퇴적물 관리가 더욱 심각한 문제로 대 두되고 있다.

물론 아직도 부식 관리가 그 重要성에 있어서는 으 틀이나 事實上 腐蝕과 퇴적물의 축적은 동시에 發生하 거나 같은 原因으로 發生하는 相互 연관성을 가지고 있다.

冷却水系統을 고장없이 운전되도록 하려면 모든 인 자들이 골고루 고려되어야 할 것이며 어느 一方에 치우치면 또다른 문제가 발생하는 수가 왕왕이 있다.

냉각수 계통의 주요 문제들을 간추려 보면

1. 腐蝕관리(Corrosion Control)
2. 퇴적물관리(Deposit Control)
3. 미생물관리(Microbiological Growth Control)
4. 부패관리(Decay control)

등을 들 수 있다.

1 항에서 3 항까지는 서로 밀접한 관계가 있으며, 여 기에서는 퇴적물이 냉각수 계통에 미치는 영향과 해결 方案을 제시코자 한다.

Fouling과 Scale 현상

냉각수 계통에서 열 교환기나 다른 部分에 퇴적물의 형성은 여러가지 운전조건에 바람직하지 못한 영향을 미치며 이로 인한 結果는

1. 熱傳達의 감소 내지는 不均一한 熱 傳達; LNER-GY의 낭비와 제품 의 品質, 수율의 저하 초래.
2. 豫期치 않는 操業의 中斷
3. 裝置 壽命의 減少
4. 化學的 또는 機械的 洗滌의 必要性 초래
5. Pumping 費用의 增加

*Zimnite Corporation

6. 裝置의 腐蝕과 고장

7. 防蝕劑의 性能 弱화
등을 들 수 있다.

Scale 과 Fouling 은 거의 동시에 共存하며 한 가지 것은 다른 것을 強化하거나 축적의 根源이 되기도 한다.

Scale 은 溶解性 成分 또는 物質이 水中에서 過포화의 結果로서 形成된 無機質의 強化된 皮막이라 하겠고 한편 Fouling 은 固形物, 一般的으로 軟性物質이 축적된 것으로 Scale 과 區分된다.

순수한 Scale 은 한가지 또는 여러가지 化學的 成分의 混合物로 구성된다.

代表的 Scale 成分은

Calcium Carbonate, Magnesium Salt

Calcium Sulfate, Silica

Calcium Phosphate, Iron Oxide

로 널리 알려진 事實이다.

Fouling 은 天然의인 것과 人爲의인 것으로 크게 둘로 나눌 수 있다.

天然의인 Fouling 은 外部로부터 冷却水系統內에 들어오는 보충수의 成分, 汚染物, 地理的 位置, 먼지 또는 工程物質의 누설로 오염되는 등 그 因子는 多樣하다 할 수 있다.

보편적으로 냉각수 管理者는 天然의 Fouling 은 除去하기가 그리 쉽지 않다.

天然의인 Fouling 의 原因이 되는 物質은

모래(silt)

진흙(clay)

沈泥(mud)

天然 有機物

溶解 鐵分

모래(sand)

분진 等이다.

人爲의인 Fouling 은 冷却水 系統의 特性에 起因하는 수가 많은 바, 一般的으로 運轉中에 發生하는 바람직 하지 못한 物質, 또는 運轉上 오류로 發生하는 데서 이루어지는 結果라 하겠다.

實例를 들면

腐蝕된 物質

응집기의 carry over

Aluminium 또는 Iron phosphate

微生物의 生長

製品 오염

三價크롬 등이다.

以上에 例擧한 것 中 단 한가지 物質이 scale 이나 Fouling 을 形成하는 일은 드물고 들 또는 그 以上의 物質들이 混合되어 形成되고 있음을 發見할 수 있다.

즉 한 物質이 다른 物質을 이끌어 scale 또는 Fouling 을 形成하는 것이다.

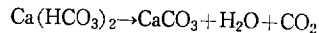
예를 들면 mud나 silt가 熱交換器表面에 부착하여 腐蝕生成物(산화철)이 形成되면 다른 곳에 또는 그곳에 퇴적물 증가 경향을 나타낸다.

實際에 있어서 어느 한 특정부위만이 scale이나 Fouling을 形成하는 것이 아니고 정도의 차이가 있을 뿐이지, 熱交換器의 튜브, 채널, 헤드, 순환 파이프, 냉각탑의 충전물 및 Basin 表面 등 全部가 퇴적물의 축적이 이루어지고 있다.

특히 심한 곳은 高溫-低速 部位인 바 熱交換器가 설계될 때 充分히 검토하여야 할 것이며 운전시에도 주의가 요구된다.

Scale 및 Fouling 機構

代表的인 Scale 形成의 化學的 反應 기구는 오래 前에 확정되었다. 즉, 高度로 溶解된 重碳酸칼슘으로 부터 炭酸칼슘이 形成되는 古典의 例는 아래와 같다.



그러나 實際로는 아래와 같은 여러 因子가 scale 形成에 影響을 미친다.

1) 溫度의 上昇은 化學反應에 필요한 熱을 供給하여 퇴적물 形成 경향을 增加시키며 어떤 物質의 溶解力을 減少시킨다. 高溫에서 溶解力을 더 갖는 物質이라도 低溫部位에 가서는 침전물 또는 非溶性 固形物로 되는 성질을 가지고 있다.

2. pH나 Alkalinity 의 變化는 퇴적물 形成의 主된 原因이 된다. 一般的으로 alkalinity가 增加하면 Calcium Carbonate 의 溶解力은 감소하고 Calcium Sulfate 는 Alkalinity 가 낮으면 溶解力은 감소한다.

또한, alkalinity 의 變動은 Calcium phosphate 나 Iron phosphate 와 같은 phosphate 物質의 포화도에도 影響을 미친다. 防蝕劑로 쓰는 polyphosphate 는 pH 6.0~6.5 에서 가장 큰 效능을 발휘하며 pH 7.4 以上에서는 침전물을 形成하여 Fouling 의 原因이 되는 것은 널리 알려진 事實이다.

3. Dissolved solid 의 濃縮 즉 chloride, sulfate, Magnesium 및 silica 같은 것은 相互間의 溶解度에 影響을 미치며, 결국 높은 Dissolved solid 는 scale 形成 경향을 증가시킨다.

4. 어떤 微生物은 亦是 Dissolved solid에 영향을 미친다.

예를 들면 Gallionella 즉 鐵퇴적 박테리아는 冷却水系統에서 용해 鐵分을 침전시키는 작용을 한다.

5. 어떤 防蝕劑의 高度 농축은 퇴적물 形成의 原因이 될 수도 있다. 예를 들면 過量的 phosphate는 칼슘과 鐵과 結合하여 不溶性인 산염을 형성한다.

특히 pH 조절을 위한 酸의 농도가 낮을 때 CaOH나 Fe(OH)₃ 퇴적물 生成 傾向을 증가시킨다.

6. 습윤 또는 건조상태가 반복되는 조건은 溶解性인 염이라도 퇴적물을 형성하게 된다. Encrustation 이라고 알려진 상태를 말한다.

Fouling은 天然의이거나 人爲的인 것이나 閥에 냉각수 系統에서 化學的인 특성보다 物理的인 특성이 더 크게 作用하는 바, 몇가지 특성을 들어 보면

1) 流速(velocity)—低流速部位에서 Fouling은 부유물의 自然的인 침전에 의하여 發生하며 高速部位에서는 Fouling은 생겨도 그리 심하지 않는 바 부유물의 scrubbing 作用에 의한 것이다.

2) 계절적 영향—계절의 변화는 보충수의 수질을 변화시키거나 부유물을 증가시켜 Fouling의 傾向을 증감시킨다.

예를 들면 나무잎 같은 植物의 分解物은 가을이나 겨울철에 보충수에 充연 有機物의 含量을 증가시킨다. 즉 계절적으로 Fouling의 방지를 위한 대책을 수립, 施行해야 할 것이다.

3) 水源의 오염—준설공사, 他 工場의 배출물, 및 보수로 인한 세척수의 流入 등으로 보급수가 오염될 때 퇴적 傾向은 증가한다.

4) 부식성 가스의 流入, 먼지 모래의 流入 및 微生物의 生長은 퇴적물을 증가시킨다.

Scale 및 Fouling의 管理

Scale과 Fouling을 除去하기 爲하여는 무엇보다 먼저 그 原因을 구명하여야 한다.

대개 한가지가 原因이 되는 경우는 드물고 여러가지 原因이 복합적으로 作用한다.

Scale과 Fouling 문제의 해결은 가혹한 조건하에서 장기간 동안 보수하지 않고 운전되기 때문에 어려운 문제로 되어 있다. 퇴적의 防止를 위한 방법의 例를 들면

1) pH의 조절—Calcium Carbonate의 퇴적방지를 위하여 용해도를 유지하도록 pH를 낮추고, phosphate 사용시 pH 조절을 제한시키고 있다.

2) 天然 Lignin—Calcium Carbonate의 結晶을 파괴하여 금속에 부착성이 적은 形態로 변화시킨다.

3) Blowdown의 조절—Blowdown을 늘려 농축도(Cycles of concentration)를 낮춰 水中의 Dissolved solid를 줄이므로써 퇴적물의 防止를 기하고 있다.

4) 응집처리—clarified water를 사용하기 위하여 알루미늄이나 鐵의 鹽으로 原水를 응집 처리하여 비교적 맑은 물을 사용하므로써 성공하는 수도 있으나 때로는 Dissolved solid나 미세한 浮遊固形物을 carry over시켜 퇴적물의 形成을 촉진시키는 수도 있다.

적은 량일지라도 長期間 carry over 現象이 일어나면 이것이 축적되어 퇴적물을 形成하게 된다.

5) Sodium Floride나 Sodium silicofloride—弗化物의 使用은 알루미늄 Foulant의 形成을 방지하기 위한 알루미늄 ion을 形成할 수 있으나 일반적으로는 Floride는 Alum Carry Over의 浮遊物이나 鐵, 칼슘등과는 弗化物을 形成치 않는다.

이러한 문제점이 있음에도 불구하고 Clarifier를 조심스럽게 運轉하고 效果的인 응집조제(Coagulation aid)를 使用하므로써 문제점을 일으키지 않는 工業用水의 供給을 可能하게 할 수 있으나 實際로 그리 쉽지는 않다.

그러나 우수한 用水를 使用함에도 불구하고 過酷한 Fouling을 일으키는 경우가 왕왕이 있다. 이것은 보충수의 수질과 관계없는 Fouling인 것이다.

예를 들면 全 冷却水 系統에 먼지, 모래, 가스, 조류의 배설물 등을 정화시켜 들어 가도록 물 濾床를 사용하고 side stream filter를 통하여 制限된 量(約 5%)이지만 浮遊固形物을 除去해 주고 있으나 퇴적물을 完全히 除去치는 못하고 있다.

즉 현재까지 개발된 어떤 시설도 廣範한 浮遊固形物(suspended solid)을 充分히 除去할 수는 없는 것이다.

왜냐하면, 조류의 배설물, 미생물, Clarifier의 By Passing, 酸化되거나 高溫에서 침전하는 天然有機物, 순환계통의 금속 腐蝕物, 일교환기의 공정중 극점물 등등은 위와 같은 시설 또는 처리 방법으로는 目前에 처리 제거할 수 없기 때문이다.

최근에 발전시킨 化學處理劑로서 스케일이나 Fouling을 溶解시키기 위한 化學物質들은 部分的으로 좋은 效果를 가져왔고 성공적으로 使用되어져 왔으나 그 性能의 制限性과 費用의 過多 등으로 광범위한 使用은 制限되고 있다.

예를 들면

1) 구연산 또는 sulfamic acid—작은 裝置나 中間 정

도의 장치에서 硬度나 鐵의 安定을 조절하기 위한 pH 조절제로서 使用되어 왔으나 價格 관계로 큰 裝置에서는 사용이 곤란하다.

2) EDTA Type 처리제—溶存 알루미늄, 칼슘, 鐵은 効果的으로 Chelate 化시키나 浮遊固形物에는 效果가 없다.

이 劑材의 경우 냉각수 계통内の Chelate 化시킬 物質量에 比例하여 使用해야 하며 그렇지 않을 경우 비용의 낭비가 된다.

× × ×

이러한 諸般 經驗과 研究實績을 종합하여 볼 때, 스케일과 Fouling의 防止는 어떠한 條件下에서 防止가 不可能한 것 같이 보이나 그렇지 않다.

최근 發見되어 使用되는 한 有機化合物은 天然의 Lignin과 Tanin을 기초 Model로 하여 만들어진 有機物 유도체로서 아주 우수한 效果를 나타내고 뛰어난 成功을 거둔 例가 있다.

이 有機物은 아직까지의 方法으로 처리되지 않던 各種의 汚濁물질을 착화합물을 형성하여 용해시키고 스케일 형성시 결정의 증대를 방지하는 성질이 있으며 浮遊固形物을 포위하여 유동성을 부여하고 沉澱물을 형성하거나 부착성을 弱화시켜 汚濁물이 되는 것을 방지한다.

특히 使用량을 증가시키면 이미 生成된 汚濁물에 침투하여 汚 층부터 차례로 剝離시키고 分離시켜 냉각수 계통에서 Blowdown時 물이 내준다.

이 有機物(polymer)의 效能을 간추려 보면 아래와 같다.

- 1) 물속의 浮遊固形物, mud, silt 및 모래의 汚濁물의 형성을 방지하고 제거한다.
- 2) 응집기의 carry over로 인한 용해성 또는 부유성 Alumina나 鐵 ion으로 인한 汚濁물의 방지 및 제거작용을 한다.
- 3) 冷却水 系統內的 Calcium Phosphate, Iron Phosphate 및 Iron oxide로 인한 汚濁물의 방지 및 제거 效果가 있다.
- 4) 微生物의 生長으로 인한 汚濁물을 방지 및 제거하여 준다. (특히 이 物質은 微生物의 營養 공급원이 되는 각종 유기물과 작용하여 제거하므로서 微生物 生長을 冷却 系統에서 防止하는 效果, 즉 간접적인 살균

제의 역할을 한다.)

5) 보충수나 熱交換器의 공정속으로 부터 오염된 유기물로 인한 汚濁물을 방지, 제거한다.

특히 이 物質은 冷却水 系統을 깨끗이 維持함은 勿論 이미 汚濁된 것도 깨끗이 씻어 준다는 意義가 있고 일반적인 分散劑와 같이 必要 以上の 거품을 내거나 일시에 分散시켜 clogging이나 plugging의 原因이 되지 않고 유지 농도가 낮은 것이므로 費用도 현저히 절감되므로 앞으로 냉각수 관리에 큰 희망을 주며 이미 우리 나라의 한 工場에서 實證되었다.

結 論

어떠한 문제점이든 간에 그 原因을 究明하고 해결 方案을 찾아야 하는 것은 工業用水 管理에도 例外는 아니다.

物理的 原因과 化學的 原因으로 스케일과 Fouling의 汚濁을 크게 나눌 수 있는 바, 物理的 原因은 設備의 설계 제작시 充分히 제거되도록 고려되어야 할 것이고 오류가 發見되는 대로 장치의 改善, 設備의 變更 또는 기계적 化學的 洗滌 빈도를 높이는 등으로 해결하여야 할 것인바, 그 經濟性과 設備의 事情이 해결 方案을 선택하는데 기준이 될 것이다.

水質管理上 문제물 일으키는 化學的 原因은 이 글에서 지적한 汚濁물질을 하나하나 체크하여 原因 究明에 참고하시기 바라며, 우리 나라의 水質은 대체로 Stability index가 10—12 정도로서 부식성이 강한 경향을 나타내고 있음에도 불구하고, 부식보다는 汚濁 現象의 해결에 부심하는 기업체가 의외로 많다.

한편 化學的인 原因의 究明과 해결은 부식 및 汚濁 現象의 해결도 그칠 것이 아니라 우리나라 百年大計를 위하여, 實際 우리나라에서 이 完全히 문제를 解決한 成功 實例와 理論의 정립이 어렵다.

어떻게 보면 아직까지의 大工場 건설이 커던 方式의 건설 조건에 따라 건설 가동되고 있으나 우리나라 工場의 自力 건설은 勿論 無限한 해외 市場 개척을 위하여, 腐蝕管理의 技術高度化와 보편화로 우리나라의 技術을 海外에 널리 진작시키고 立證하는 날이 어서 속히 오기를 기다리며 이 글 맺는다.