

한국부식학회지
Journal of the Corrosion Science Society of Korea
Vol. 15, No. 2, June, 1986

〈産學協同〉

復水器 및 熱交換器의 腐蝕과 防蝕

金 殷 銅

韓國電力公社 技術研究院

1. 序 論

2. 腐蝕種類

- 가. 潰蝕과 Impingement Attack(고형이물에 의한 局部 潰蝕)
- 나. Inlet Attack(入口 端의 潰蝕)
- 다. 異常(惡性) 潰蝕
- 라. Sand Erosion
- 마. Ammonia Attack
- 바. 汚染海水腐蝕
- 사. 孔蝕
- 아. 応力에 의한 腐蝕과 腐蝕波勞
- 자. Galvanic Attack
- 차. TITANIUM TUBE의 水素吸收
- 카. Water Box面 및 冷却水 Line의 腐蝕

3. 腐蝕發生 現況 및 防蝕效果

- 가. 腐蝕現況
- 나. 防蝕效果

4. 結 論

1. 序 論

復水器 및 熱交換器는 발전소, 정유공장, 일반산업체 및 선박등에서 열효율 향상을 위해 많은 수량을 설치 운영하고 있으며 종류 또한 다양하다.

冷却用 媒體로는 공기등을 이용하는 경우도 있지만 열교환 능력의 향상을 위해 물을 주로 이용하고 있으며 대부분이 해수를 冷却水로 사용하고 있는 실정이다.

해수를 冷却水로 이용하므로 해수의 심한 腐蝕性으로 약 1mm 두께의 Tube, Tube Sheet 또는 Water Box가 빠른 속도로 損傷되어 열교환기 이용율을 저하시키며 계통내로 해수가 유입되어 타기기의 수명을 저하시키고 사고를 일으키는 경우가 많이 발생하므로 열교환기에 발생될 수 있는 부식손상의 종류 및 종류별 점유율등을 조사, 시험하므로 적정 防蝕法을 모색시키고자 한다.

2. 腐蝕種類

가. 局部腐蝕

熱交換器 내면으로 冷却水가 흐를 때 流体의 충격에 기인하는 腐蝕을 일반적으로 Impingement Attack(일부는 潰蝕현상과 같다)이라 부른다.

潰蝕과 Impingement Attack은 발생조건과 형태가 거의 비슷하므로 같은 것으로 보며 管 중앙부위에 고형이물의 정체에 의해 발생하는 것을 局部腐蝕(Local Impingement Attack)이라 한다.

冷却水의 流速은 금속의 腐蝕과 밀접한 관계가 있고 流速이 빠르면 금속표면에 腐蝕性物質의 供給이

많게되어 全 腐蝕量은 증가한다. 또 亂流下에서는 금속표면 근처의 정체층이 두껍게 되고 腐蝕性物質이 금속과 접촉하기 쉽게 되어 腐蝕이 促進된다. 그러나 流速이 腐蝕에 미치는 영향에 대하여는 금속표면의 피막상태와 流速과의 관계를 고려하지 않으면 안된다. 즉 冷却水の 流速이 빠른 경우에는 管内面の 皮膜이 損傷되거나 隔離되는 경우가 있고 皮膜이 격리된 곳은 電位가 低下되어 陽極的으로 되어 腐蝕되는등 腐蝕速度는 流速의 영향을 많이 받는다. 다시 정리해보면 潰蝕은 Tube 임의의 위치에 생기는 일이 적고 溝狀孔蝕에 대하여 水流가 작용하는 부분에 발생한다. 이들 損傷은 주로 保護皮膜이 얇은 管에서 볼 수 있다. 潰蝕 발생현상은 冷却水の 流速, 흐름의 形態(層, 亂流) 冷却水中的 固形物 등 機械的으로 皮膜을 파괴하는 因子의 영향과 함께 皮膜의 形成 速度나 形成된 皮膜의 성질등에 관계되며 수질상의 특징과 더불어 腐蝕 反應을 加速하는 電氣化學的인 여건등의 化學的인 因子의 영향을 많이 받는다. 그리고 冷却水の 流動速度가 큰 流体中 용존산소 농도나 CO₂ 농도가 높으면 腐蝕 速度를 더욱 加速 시킨다.

冷却水の 허용유속에 대하여는 여러가지 복합적인 관계가 있고 물의 ION 조성, 공기의 량, 수중의 固形物質, 온도와 흐르는 형태등에 의해 좌우된다. 각 발전소에서 채택하고 있는 유속은 대부분이 1.9~2.0m/s 정도이고 Titanium Tube에서는 내마모성이 높기때문에 더 높은 流速으로 유지시킬 수 있으나 Pump 등 부대설비의 유지 관계를 고려하여 대부분이 AL-Brass와 같은 정도로 유지시키고 있다.

발전소에 설치되어 있는 열교환기 Tube 재질은 대부분이 AL-Brass(887, 776 본중 70% 이상)로 AL-Brass의 유속은 약 2.7m/s 이상이 되면 磨損에 의한 損傷速度가 매우 높고 또 매우 낮은 경우 Bi-fouling 등에 의해 腐蝕이 발생할 수 있으므로 일반적인 유속범위는 AL-Brass의 경우 1.4~2.4m/s, 30% Cu-Ni은 0.9~2.7m/s 정도가 바람직하다.

발전소에서 발생한 局部 腐蝕의 예는 사진1과 같으며 損傷의 진전으로 지름 약 3mm의 Hole이 발생되었다.

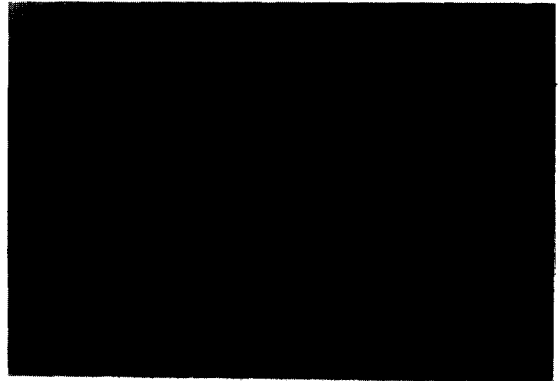


사진 1. 국부부식에 의한 HOLE 발생TUBE

나. INLET ATTACK

冷却水가 入口 Line에서 넓은 Water Box를 통하여 Tube내로 流入될 때 대부분이 직선상으로 流動이 形成되지 않고 큰 각도로 꺾여서 流入된다.

Inlet Attack은 潰蝕의 일종으로 冷却水가 Tube내로 流入되어 管内를 흐를때 흐름의 방향에 剪斷應力을 일으킨다.

발생되는 전단응력 Z는 Blasius식으로

$$Z = 0.03956 U_m' \times \rho \times Re^{-1/2} \quad Re : \text{레이놀드수}$$

$$3 \times 10^4 \sim 10^5$$

$$\rho : \text{밀도}$$

$$U_m : \text{평균유속}$$

된다. 이 値는 Tube중간 부위에서의 値이나 Tube 入口에는 흐름의 상태가 대부분이 亂流化되어 상기의 値보다 매우 커진다.

일본 B연구소의 실험결과에 의하여 流速 2m/s일 때 入口端을 제외한 부분의 전단응력은 110dyne/cm² 정도이고 입구단에서는 200dyn/cm² 정도로 높다. 이렇게 높은 전단응력이 Inlet Attack의 발생원인이다.

이 剪斷力에 의해 管内面の 皮膜이 파괴되고 皮膜의 격리와 그 후에 가속된 電氣化學的 반응-말하자면 부식-에 의해 일어나는 현상이다. 만일 冷却水中에 모래 등 異物이 함유되어 있으면 충격력은 더욱 커지고 腐蝕速度가 빨라지게 된다. 각 발전소에서 초기에 Inlet Attack에 의한 損傷으로 漏泄된 경

우가 많았으며 특히 腐蝕速度가 빨라 Tube 중간부위에는 건전한 경우에도 입구부위에 심한 Inlet Attack 발생으로 Tube를 교체하는 경우가 많았다. 사진 2는 K발전소의 열교환기에 발생된 Inlet Attack을 보인 것이다.

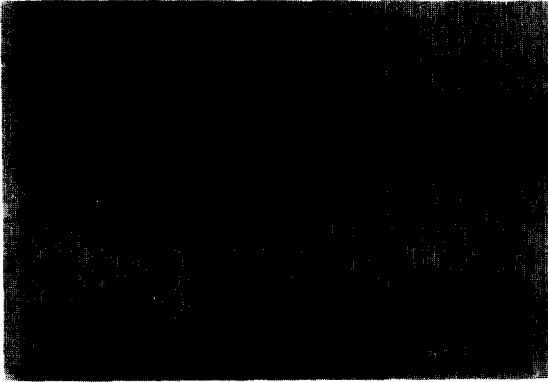


사진 2. INLET ATTACK 발생 TUBE

다. 異常(惡性) 潰蝕

熱交換器등에 冷却水를 공급하는 Culvert 및 Line에 서식하는 어패류 등을 제거하기 위해 冷却水中에 염소처리를 하는 경우 Tube 내부표면에 MnO₂ 皮膜이 形成되고 있는 경우가 많고 皮膜이 損傷된 곳에는 腐蝕이 심하게 진행되는 경우가 있다. MnO₂ 皮膜의 形成 기구로는 海低에 침전된 MnO₂가 해수의 汚染時에 환원되고 Mn²⁺가 MnO₂의 Colloid 입자에 따라 열교환기로 운반되어 管内에 부착된다.

MnO₂가 많은 皮膜은 陽極으로 活性化하므로 皮膜 損傷部에 심하게 潰蝕을 일으키고 있는 것이라 본다.

라. SAND EROSION

冷却水中에 浮遊되어 있는 모래가 熱交換器管을 機械的으로 損傷시키는 현상을 SAND EROSION이라하며 잘 알려져있다.

發電所의 경우 대부분이 海面에 접해 건설되어있고 漂砂를 함유한 海水를 冷却水로 사용하는 경우가 많아 SAND EROSION의 문제는 중요시 되고

있다. 특히 서해안쪽에 설치되어 있는 熱交換器에서 SAND EROSION 현상이 많이 발생된다. 冷却海水中 모래를 함유해도 좋은 최대한계인 약 30 PPM을 넘어 30~2500PPM의 경우 AL-BRASS管에 일어나는 侵蝕은 砂에 의한 皮膜의 파괴작용과 그후의 腐蝕作用에 의해 진행된다. 그러므로 열교환기의 SAND EROSION 현상은 潰蝕현상과 비슷하며 機械的인 작용에 의한 皮膜破壞와 皮膜損傷部에 일어나는 電氣化學的인 작용과 腐蝕反應과의 相互作用에 의한 侵蝕現象이다.

SAND EROSION은 모래의 함유량이 많으면 심하게되며 이 경향은 淡水中에서 더욱 크다. 그리고 냉각수중에 함유되어 있는 모래의 직경이 클수록 더욱 심하게 일어난다. 예를들면 모래의 粒徑이 50μ의 경우보다 250μ인 경우가 管内面 保護皮膜에 미치는 영향은 5~8배 심하게되고 流速 또한 加速要因이 된다. 그림 3은 Y발전소 復水器에 발생된 SAND EROSION의 예이다.



사진 3. SAND EROSION TUBE

마. AMMONIA ATTACK

復水器의 STEAM중에 混入되어있는 非凝縮性 GAS는 復水器내에 있는 특정의 管群部 소위 AIR COOLING ZONE에 집중되어 있고 脫濕되므로 해서 EJECTOR에 연결된 VENT관을 통하여 배출된다. 이 非凝縮性 GAS는 復水器內로 混入된 공기와 더불어 給水처리제로 사용된 AMINE이나 HYDRAZINE의 分解에 의해 생긴 AMMONIA성분, 그

외에 PH 조절을 목적으로 첨가하는 AMMONIA 분 등을 포함한다. 그 때문에 AIR COOLING ZONE의 DRAIN은 銅合金 復水器管에 대하여 심한 腐蝕性이 있다. BOILER의 고압화나 鋼管製 給水加熱器의 사용에 따라 給水の PH는 상승시키는 경향이 있고 AMMONIA ATTACK에 의한 AIR COOLING ZONE의 AL-BRASS 管内面에 급속한 侵蝕이 생기기 시작한다. 사진4는 AMMONIA ATTACK으로 TUBE 외면이 심하게 腐蝕된 상태를 보인 것이다. AMMONIA ATTACK은 復水器内에서 AMMONIA의 局部濃縮에 의해 일어나며 濃縮의 정도는 復水器의 DESIGN에 따라 달라진다. DESIGN에 따른 AMMONIA ATTACK의 발생을 살펴보면 AIR COOLING ZONE의 상부가 개방되어 있는 경우에는 腐蝕이 가볍고 거꾸로 隔壁으로 덮혀 있는 경우에는 腐蝕이 심하다. 이러한 것은 AIR COOLING ZONE의 상부에서 DRAIN의 낙하에 의한 경우와 또한 AMMONIA 濃도가 希釈되고 안되고 하는 것에 의한다고 생각한다.

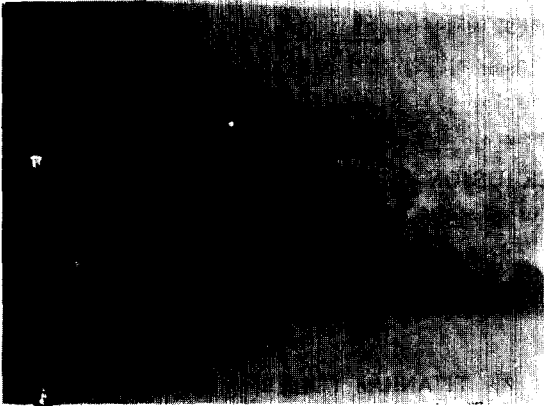


사진 4. AMMONIA ATTACK 발생 TUBE

바. 汚染海水에 의한 腐蝕

공업의 발달로 대도시 근해의 河川, 港灣에 공업 배수나 도시하수의 混入에 의해 汚染이 심하여지며 발전소 근해에서의 浚渫에 의해서도 汚染되며 이러한 汚染 河, 海水를 冷却水로 사용하고 있는 각 열교환기관이 심하게 腐蝕되어왔다. 그중 특히

심한 곳이 남해안에 위치한 발전소등에서 사용된 열교환기관이다. 汚染海水에 의한 AL-BRASS 管의 腐蝕은 전면적인 孔蝕狀으로 나타난다. TUBE의 漏泄事故는 그 孔蝕의 관통에 의한것(관통적 孔蝕 殘肉部에 일어나는 미소량의 應力에 의한것도 포함)이 있고 또 孔蝕이 깊게 진행하지 않아도 이것을 기점으로 발생하는 심한 應力腐蝕에 의해 漏泄을 일으키는 경우도 있다.

汚染海水腐蝕의 主因子는 硫化物(硫黃10N)이라고 알려졌고 이 硫化物은 대체로 도시폐수나 공장 배수등의 汚染源에 직접포함하고 있는 것이 아니고 汚染源에 의해 有機物이 해수중의 용존산소를 소비하여 嫌氣性的의 細菌으로있는 硫酸鹽還元菌의 번식을 가능케 하는결과 해수중의 硫酸鹽이 還元하여 발생한 것이다.

해수중의 硫化物이 AL-BRASS등 銅合金材質에 대한 腐蝕作用은 극히 강하므로 미량의 농도에도 상당히 심하게 腐蝕이 발생한다. 해수의 汚染度를 보면 거의 夏期를 頂点으로 하고있으며 계절, 降雨 등에 따라 대폭 변한다. 이상을 대략 정리해 보면 汚染海水에 의해 AL-BRASS管에 받는 腐蝕의 공통된 특징은

- 1) SLIME 狀의 부착물이 管内面을 해친다.
- 2) 腐蝕은 孔蝕狀의 것을 주로한다.
- 3) 부착물은 銅과 有機物을 상당히 함유한다.
- 4) 腐蝕部는 粒界腐蝕을 일으킨다,

그러나 각 사례의 상세한 상황은 서로 커다란 차이가 있고 汚染海水에 의한 腐蝕의 要因이 획일적인 것은 없다고 생각된다.

汚染海水腐蝕을 일으키는 해수의 공통적인 특징은

- 1) PH가 淸淨海水보다 낮다. (PH; 6.8~7.5)
- 2) AMMONIA ION이 함유되어있다. (1~30PPM)
- 3) 용존산소가 대체적으로 많은 편이다.
- 4) 有機物이 많이 함유되어있다. (COD>4PPM) 등이라 하겠다.

사. 孔 蝕

多孔質皮膜 구조내에 있어서 각부분에 흐르는 短

絡電流는 같지 않으며 皮膜의 結核부에서 10N 저항이 감소되고 더욱강한 短電流가 흐른다. 이때 腐蝕은 孔蝕의 특성을 표시하며 구멍이 균일하게 표시되어 있는것은 均一腐蝕으로 분류한다. 두께 1mm의 管에 0.1~0.4mm 정도의 구멍이 발생되는 것을 말한다. 孔蝕을 일으키는 곳은 대개 전면이 SLIME이나 석회분등의 堆積物層(陰極部)에 쌓여 있는 경우의 非破覆點, 皮막을 관통하는 酸化物이나 硫化物 등의 계재물이 있는점, 製管時에 潤滑油가 分解炭化하여 殘留되는점, 管材料 내부의 편식, 潤滑油중에 냉각수의 濃縮에의해 Cu_2O 皮막이 파괴되고 다른 化合物에 變化하는 점등이 孔蝕으로 된다. 孔蝕의 生長은 불연속적으로 生長하므로 그 進行속도를 아는 것은 어렵다.

아. 應力에의한 腐蝕과 腐蝕疲勞

열교환기관의 應力에의한 腐蝕은 대개 黃銅合金에서 볼 수 있다. 근래에는 TUBE MAKER에서 管材料에 燒鈍을 실시하므로 組立초기에 일어나는 應力腐蝕은 감소되었다. 應力에의한 均열은 管내부에서 보호皮막의 미세한 損傷에서 시작된다. 應力에의한 腐蝕의 원인으로 잘알려진 NH_3 가 냉각수중이나 腐蝕生成物중에서 예상보다 많이 발견되지 않는다. 그러나 NaCl 용액중의 孔蝕발생조건 하에서는 NH_3 를 함유하지 않아도 應力에의한 腐蝕이 발생할 가능성이 매우 높다. 擴管部에 일어나는 粒界內的 均열은 TUBE 두께의 거의 중심에서 정지한다. 이것은 擴管部の 管外側에 壓縮應力의 존재에 의하면 均열이 TUBE외면까지 확대된 예는 많지 않다. 應力에의한 腐蝕은 汚染海水에 의해 더욱 심화되므로 주의해야하며 腐蝕의 경우와 마찬가지로 皮막의 質을 개선하는것이 유효하다. 그리고 應力의 반복으로인한 疲勞에의해 腐蝕이 발생하는 수가 있고 또는 管이 외부 振動源에의해 직접 진동을 받거나 진동현상에 의한 반복應力에의해 腐蝕되어 均열이 발생되는 수도 있다. 운전중 높은 속도의 증기의 충동에 의해 TUBE에 발생하는 진동은 가끔 疲勞에의한 腐蝕龜裂을 일으키는 경우도 있으므로 가능한한 제반 진동의 영향이 미치지 않게 할 필요가 있다.

자. GALVANIC ATTACK

AL-BRASS 보다 耐蝕性이 좋은 TITANIUM TUBE는 해수중에서 안정된 酸化皮膜을 형성하여 銅合金보다 電氣化學的으로 貴한 電位에 위치하므로 復水器管으로 사용한 TITANIUM 管群은 AL-BRONZE, NAVAL BRASS 등의 TUBE SHEET에 대하여 電位差腐蝕인 GALVANIC ATTACK을 일으킨다. TITANIUM TUBE는 일부 발전소에서 AIR COOLING ZONE에만 한정하여 사용하였으나 점차 확대되어 復水器管 전체를 TITANIUM으로 사용하는 추세에 있고 원자력의 경우 1 UNIT 外는 전체가 TITANIUM TUBE를 사용하고 있다. TITANIUM TUBE를 사용한 일부 復水器에서 GALVANIC ATTACK이 발생되었으며 정도의 차이는 있으나 防蝕對策을 樹立하지 않은 곳에서는 2~8mm 정도의 腐蝕이 발생된 예가 있다. GALVANIC ATTACK이 발생하는 유형은 크게 2가지가 있다. 한가지는 TUBE SHEET에 탈아연부식이 발생하고 있는 것으로 해수 通水정지직후 관찰하면 TUBE SHEET는 金屬網狀의 적색을 나타내고 있다. 그리하여 부분적으로 3~10mm 직경의 凹가 보여지고 청백색의 녹색이 부착되어 있는 凹부도 있다. 다른 한가지 유형은 管 주변이 흐름에 의해 侵蝕된 것으로 濃蝕現象-EROSION CORROSION-에 의한 것도 보이며 黃銅色을 띄는 경우가 많다.

上記 2가지의 경우 어느 한종류로만 진행되는 경우가 적고 대부분이 복합되어 발생되어 진다.

차. TITANIUM TUBE의 水素吸收

復水器등 열교환기에는 防蝕을 위해 電氣防蝕法을 채택하여 운용하고 있다.

TITANIUM TUBE를 사용하는 復水器등에서 電氣防蝕設備 운용시 鋼系 구조물의 防蝕을 위해 유지전위를 -0.77V(S.C.E) 이하로 分極시키면 TUBE END 약 30~60mm 이내에서 管内面의 水素化合物은 TUBE EXPANDING時的 壓縮應力이 잔존하여 충상으로 析出하며 水素吸收가 발생된다. 이 현상은 냉각수 입구측보다 출구측이 分極되기 쉬우

므로 출구측에서 발생될 가능성이 높다. TUBE EXPANDING時 EXPANDING율이 크거나 염소 ION, 砂 등의 영향이 크면 水素吸收속도가 증가되고 심할경우 TUBE에 미세 CRACK이 발생할 가능성

이 있다. FIG 1은 過防蝕에 의한 TUBE위치별 수소발생량을, FIG 2는 각전위별 수소발생량을 보인 것이다.

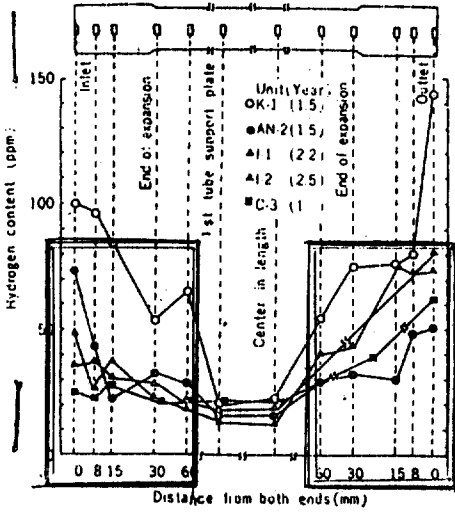


Fig. 1. 과방식에 의한 위치별 수소 발생량 (1, 재질 : TITANIUM, 2, 기간 : 1~2.5년)

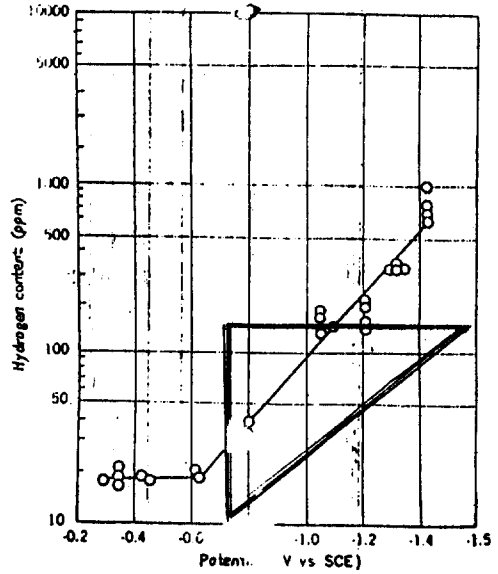


Fig. 2. 분극전위별 수소 발생량 (3개월 운전)

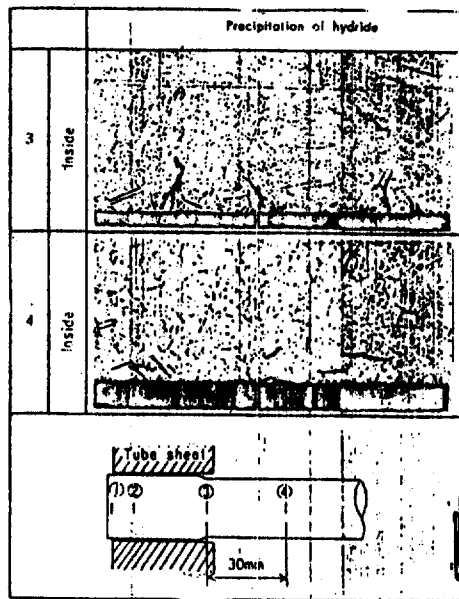
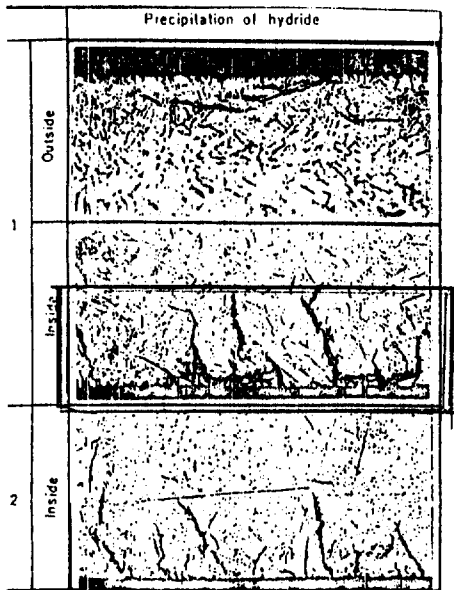
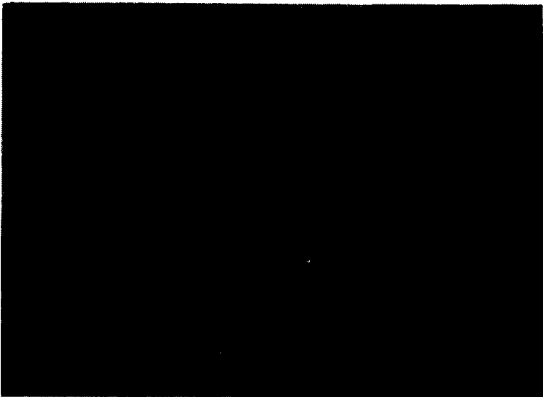


Fig. 3. 수소흡수로 인한 CRACK 발생 (1, 기간 : 2년 10개월, 2, 배율 : ×400) 3, 발전소 : 일본 AN2 UNIT

카. WATER BOX 및 冷却水 LINE의 腐蝕

WATER BOX면이나 입, 출구 LINE에는 水流의 충격에 의한 損傷이나 일반적인 電氣化學的腐蝕이 발생되고 있으며 TITANIUM TUBE를 사용하는 復水器에서 TUBE SHEET면에 정착된 STEEL 系 WATER BOX는 電位差에 의한 腐蝕이 발생된다.

WATER BOX면이나 LINE등에서 제작시 용접으로 연결한곳 즉 용접선 주변에는 용접시의 殘留應力에 의해 電位的으로 불안정한 상태가되어 腐蝕이 쉽게 발생되는 것이다. 사진 5는 P발전소의 열교환기 WATER BOX의 용접선에서 腐蝕되어 EPOXY COATING 위로 腐蝕生成物이 표출되어 있는것을 보인것이다. 사진 6은 WATER BOX면에 LINNIN G을 하지않고 電氣防蝕의인 대책없이 운전하므로 발생된 腐蝕損傷을 보인것이다.



사 진 5



사 진 6

3. 腐蝕發生現況 및 防蝕效果

가. 腐蝕 現況

復水器등 열교환기에 발생되는 腐蝕의 종류는 설비의 형태, 설치위치, 운전조건등에 따라 각각 다른형태로 발생되거나 여러종류가 복합되어 나타나곤한다.

腐蝕종류에 따라 최초로 발생된후 腐蝕速度가 완만하게 진행되거나 아니면 외부의 防蝕效果에 의해 설비에 큰 장애를 주지않는 것이 있는가하면 주위 환경의 영향이나 운전조건에 따라 腐蝕이 발생된 비율은 낮으나 빠른 腐蝕速度에 의해 열교환기관의 漏泄, 아니면 설비를 교체해야 할 정도의 有害한 腐蝕이 있는것이다. 腐蝕중 WATER BOX면이나 입, 출구 LINE에 발생되는 腐蝕은 용접등의 방법으로 腐蝕부위를 쉽게 조처가능하고 또한 설비의 정상운전에 크게 영향을 미치지 않으나 TUBE에서는 발생된 腐蝕이 커져 管子 漏泄되면 다른 계통으로 腐蝕성이 높은 해수가 유입되어 高價의 설비를 損傷시키는 직접적인 요인이 될 수 있는 것이다. 발전소의 主 復水器管이 漏泄될 경우 해수가 발전용蒸氣系統으로 유입되어 대용량의 BOILER TUBE나 TURBINE BLADE를 侵蝕시켜 사고를 유발하므로 발전을 정지하고 설비를 교체해야 하거나 설비수명을 단축시키는 등 정상적인 발전에 큰 장애를 惹起시키는 것이다.

열교환기가 원자력 발전소 등에서 FREON GAS 등의 冷却媒體를 凝縮시키는 凝縮器일 경우에 管子 漏泄되면 해수가 冷却媒體를 汚染시키고 압축기용 MOTER를 燒損시키는 경우가 생기고 원자력발전을 정지시켜야 할 경우도 발생될 수 있는 것이다.

TUBE에 발생되는 腐蝕은 管入口에 발생되는것 외는 외부에서 腐蝕상태를 확인 할 수 없어 적절한 防蝕對策을 수립하기가 어려웠으나 요즘은 외부에서도 管内部에 발생된 腐蝕을 EDDY CURRENT TEST(渦電流 探傷 試驗) 라는 비파괴적인 방법으로 시험이 가능함으로 防蝕對策樹立등 설비개선을 할 수 있게 되었다.

'79년이후 발전소 復水器管에 E. C. T시험을 실시

표 1 E.C.T 시험 결과표(기간 ; 79~86.3)

	균일부식	국부부식	AMMONIA ATTACK	INLET ATTACK	기 타	합 계
부식 TUBE수	83,555	13,733	6,324	14,700	2,908	121,220
점 유 율 (%)	68.9	11.3	5.2	12.2	2.4	100
교체 TUBE수	2,580	1,307	1,634	885	9.9	6,505
점 유 율 (%)	39.7	20.1	25.1	13.6	1.5	100
종류별비유(%)	3.1	9.5	25.8	6.0	3.4	5.4

하여 管内의 腐蝕狀態 파악 및 설비를 개선하므로 管 漏泄에 의한 사고를 크게 감소시킬 수 있었다.

復水器管에 발생한 腐蝕의 형태 및 종류를 크게 분류한 결과를 보면 표 1과 같다.

상기표는 점검 TUBE 776,058 本(점검율; 51.4%) 중 15.6%의 腐蝕率을 보인 것으로 腐蝕점유율을 볼 때 均一腐蝕이 대부분을 차지하고 있다. 均一腐蝕은 TUBE 길이 약 20cm 이상에 걸쳐 腐蝕형태가 길게 발생되어 있는 것으로 이는 해수의 汚染에 의한 孔蝕의 집합으로 넓은부위에 걸쳐 발생하는 경우 등 해수의 性狀에 의한 경우와 EROSION 등 외부의 기계적인 腐蝕의 집합으로 발생하는 경우가 있는 가하면 管의 淸淨度를 높혀 열효율을 향상시키기 위해 실시되는 管内面 SPONGE BALL CLEANING 등에 의해 管内面이 거의 균일하게 損傷되어 발생하는 것이 있다.

반면 局部腐蝕, AMMONIA ATTACK, INLET ATTACK 등은 腐蝕 발생율은 낮으나 교체해야 하는 TUBE의 비율은 매우 높다. 교체 TUBE는 TUBE에 발생한 損傷크기가 커져 管이 漏泄될 가능성이 있는 TUBE를 사고발생전에 폐쇄시키거나 교체한 TUBE로서 각 腐蝕種類에 대한 위험도를 나타내는 것으로 볼 수 있는 것이다. 즉 均一腐蝕된 TUBE는 수량은 많은데 비해 위험율이 낮은 반면 INLET ATTACK 등은 腐蝕數는 적는데 비해 일단 발생되면 腐蝕速度가 빨라지므로 管 漏泄에 직접적인 큰 요인이 되는 것이다. AMMONIA ATTACK의 경우 BAFFLE PLATE 부근에서 管内面이 전반적으로 損傷되는 것으로 특히 A.C.Z에 AL-BRASS를 사용할 경우 발생되고 腐蝕速度가 매우 높고 위험한 腐蝕의 한 종류이다. AMMONIA ATTACK은

H발전소 등에서 심하게 발생되어 많은 횟수에 걸쳐 管이 漏泄된 예가 있었다.

나. 防蝕對策 및 效果

WATER BOX면이나 입, 출구 LINE에는 정기 보수기간중에 EPOXY등의 塗裝을 실시하면 단기간이나마 효과가 있다. 塗裝보다 효과적인 방법은 NEOPRENE 등으로 LINNING을 하면 좋을 것이다. 그러나 LINNING시 잘 접합되지 않으면 외부에서는 확인할 수 없으나 RUBBER 내면에 해수가 유입되어 腐蝕된 예가 많았다. 이러한 여러가지 防蝕法과 병행해서 채택할 수 있는 보다적합한 防蝕法은 電氣 防蝕法이라 할 수 있다. 電氣防蝕法을 채택하여 적정전위(-0.75~-1.0 V : S.C.E) 에서 유지하므로 腐蝕防止에 좋은 효과가 있었다. P발전소의 경우 WATER BOX면에 적은용량의 ZINC를 부착하여 防蝕하므로 심하게 腐蝕되었으나 적정용량으로 ANODE를 추가 부착하므로 腐蝕현상은 크게 감소 되었다.

입, 출구 LINE에서 용접연결할 경우에는 가능하면 용접 후처리를 해주는 것이 좋으며 용접선 주위에 대한 防蝕도 電氣防蝕法에 효과적인 것으로 K 원자력 발전소에서 경험하였다.

管内面과 TUBE SHEET에 발생하는 腐蝕을 방지시킬수 있는 방법은 腐蝕種료에 따라 다음의 防蝕法들이 있다.

- 1) 局部腐蝕일 경우에는 異物流入을 최대한 방지할 필요가 있다.
- 2) A.C.Z에 발생하는 AMMONIA ATTACK은 AL-BRASS를 사용할 경우 腐蝕防止가 거의 불가능

하므로 管材質을 교체할 필요가 있다. 즉 A. C. Z에만 耐 AMMONIA ATTACK 재질인 30% Cu-Ni이나 TITANIUM으로 교체하면 효과적이다. Y 발전소에서 건설시 A. C. Z에 AL-BRASS를 사용하여 심하게 腐蝕된 적이 있어 이를 제작자측에 요청하여 30% Cu-Ni으로 교체 후에는 AMMONIA ATTACK은 전혀 발생되지 않았다.

3) 많은 漏泄를 보인 INLET ATTACK에 의한 腐蝕은 역시 電氣防蝕法으로 큰 효과를 보였다. INLET ATTACK은 管入口부위에 발생되므로 이는 電氣防蝕의 적정전위 유지로 防蝕이 가능한 것이다. 효과예를 보면 N 발전소에서 최초 건설시 流電陽極法을 채택하여 ZINC ANODE를 설치하였으나 입구손상으로 漏泄사고가 수회 발생하므로 電氣防蝕設備에 대한 검토를 한 결과 일본에서 설계한 ANODE의 용량이 부족하였으며 純度 또한 불량하였다. 이를 개선하여 外部電源法으로 교체후는 漏泄 사고발생은 없었다. 그의 復水器 전체적으로 볼 때 81년 이후 電氣防蝕의 설비 정상화로 81년도에 INLET ATTACK 발생을 31.3%에서 86년도에 3.9%까지 점차 감소되는 효과가 있었다.

또한 INLET ATTACK을 감소시킬 수 있는 방법은 WATER BOX 내에서 가능한 흐름이 亂流化 되지 않도록 설비를 개선하는 것이 좋다.

4) 均--腐蝕은 발생요인에 따라 각각의 防蝕對策이 필요하다.

SAND EROSION등 異物流入에 의한 均--腐蝕은 局部腐蝕에서와 같이 異物流入을 최대한 방지하여야 한다.

SPONGE BALL CLEANING에 의한 보호피막 파괴로 발생된 것은 CLEANING 실시시 BALL 통과수량을 저빈도(淸淨해수일 경우 3~4개 /TUBE. 주)로 실시하여야 하며 염소ION을 주입하는 곳에는 특히 주위가 필요하다. 강력 BALL인 CARBORUNDUM BALL 사용은 가능한 억제하여야 한다.

보호피막 육성을 위해 냉각수중에 Fe ION 주입이 효과적이며 이 방법은 管内面에 발생되는

대부분의 腐蝕에 대해 효과가 있다.

5) 汚染海水腐蝕은 발생기구가 孔蝕狀으로 되고 심할 경우 均--腐蝕 형태로 되므로 방지대책은 耐汚染海水腐蝕 재질을 선택 사용할 필요가 있다. 耐汚染海水 腐蝕재질로는 TITANIUM, AP-BRONZE, KCB 등의 종류가 있다.

6) GALVANIC ATTACK은 電氣防蝕法으로 방지가 가능하다. 유지전위는 -0.6V(S. C. E)보다 낮은 전위로 유지하면 가능하고 TITANIUM의 水素吸收작용은 電氣防蝕電位를 H₂ 발생 임계 전위 이상으로 유지시키면 된다. 2 가지를 만족시킬 수 있는 전위범위는 -0.6~-0.8V(S. C. E)의 범위내에서 유지시켜야 하며 평상시 유지되어야 할 목표전위는 -0.7V(S. C. E)로 하는 것이 효과적이다. 이 전위로 유지할 경우 STEEL 系 WATER BOX의 防蝕電位에는 약간 부족한 상태이므로 WATER BOX에는 NEOPRENE 등으로 LINNING 할 필요가 있다.

4. 結 論

열교환기에는 여러 종류의 腐蝕이 발생되며 각 腐蝕形態에 따라 적절한 防蝕法이 필요하다.

가. 냉각수중에 異物流入을 최대한 방지하여야 한다. Fe ION 주입이 효과적이다.

나. SPONGE BALL CLEANING은 과도하지 않게 할 필요가 있다. (汚染海水일 경우라도 10개 / TUBE. 주 이상으로 하지 말 것. 또한 염소 ION 주입시는 횟수를 감소시켜야 한다.)

라. INLET ATTACK 발생방지, WATER BOX 防蝕을 위해 電氣防蝕法의 효과가 크며 종류선택은 復水器등 대형은 外部電源法, 소형은 流電陽極法이 효과적이다.

마. TITANIUM TUBE 사용시의 유지전위는 -0.6~-0.8V(S. C. E)로 유지하여야 한다.

바. AMMONIA ATTACK, 汚染海水腐蝕은 耐蝕性 있는 재질을 선택 사용 해야 한다.

腐蝕防止를 위해 適正防蝕法을 채택하며 또한 계속적인 腐蝕試驗을 하여 改善하면 효과가 클 것이다.