물에 의한 부식

朴 燦 浩*

1. 緒 言

본래 金屬材料는 天然의 鑛石을 人工的인 還元에 의해 얻어지는 것이다. 그러므로 이러한 金屬이 보다 安定한 鑛石(主로 酸化物)의 形態로 돌아오고자 하는것은 自然的인 現象이다. 이와같은 環境의 化學的作用을 받아 變化하는 現象을 腐蝕이라 한다. 特定한 目的으로 金屬을 溶液中에 溶解하면, 酸化되어 酸化物을 형성할 경우는 보통 腐蝕이라고 하지 않는다. 腐蝕現象이 産業界에 미치는 影響은 廣範하고도 深刻하다. 施設및 器物에 對한 耐用年數를 短縮시키며, 이를 對替하는데 要하는 經費, 또는 腐蝕을 防止하는데 支拂하는 費用이 直接的 損害일뿐만 아니라, 操業의 中斷과 能率의 低下, 生産物 損失, 製品의 汚染, 腐蝕을 豫想한 附帶 設計, 事故災害의 誘發等의 間接的인 損害를 생각하지 않으면 안된다. 現在 우리나라에서는 腐蝕으로 인한 損失額의 統計가 없어 推定키 苦難하나, 推定컨데, 가장 腐蝕性이 强하게 미치는 암모니아 合成工場인 忠肥나 湖肥는 적지 않은 損失額을 나타낼 것으로 안다. 最近 美國은 腐蝕에 의한 直接的인 損害는 年間 60億弗, 英本國은 2億파운드로 槪算되어 있다.

美國에 있어서, 本 損害額의 細目을 보면 罐水·用水處理에 0.7億弗, 溫水施設의 補修에 2.2億弗, 埋設管의 對替補修에 6億弗等에 該當된다.

腐蝕現象을 大別하면 水分이 없는 環境에서 發生되는 乾蝕(Dry Corrosion)과 水分存在下에 일어나는 濕蝕(Wet Corrosion)으로 나눌수가 있으나, 乾蝕은 高溫空氣에 의해 酸化, 反應性이 强한 gas 로 因하여 腐蝕되는 경우로, 本文에서는 除論하나, 例컨데 熔融金屬, 熔融鹽, 非水溶體(液化 gas, 石油, 百機溶劑等)에 의한 腐蝕을 말한다. 本文에서는 水溶液에 의한 腐蝕의 경우만 論하고자 한다. 또한 大氣中의 腐蝕은 金屬面에 凝結된 물의 薄膜으로서 進行되는 것이고, 地中에 埋設된 金屬體는 土壤中의 水分에 依한 腐蝕이므로 本質的으로 濕蝕이라 할수 있다.

* 東洋化學工業株式會社

2. 腐蝕現象과 腐蝕樣狀

前述한바와 같이 腐蝕現象은 本質的으로 乾蝕과 濕蝕으로 大別하고, 그 作用機構를 토대로 보면 다음과 같이 分類할 수 있다.

1) 電氣化學作用　　2) 純化學的作用
3) 生物作用　　4) 機械的作用

天然水, 鹽類水溶液, 酸, 알카리等의 液에 依한 濕蝕은 大部分이 電氣化學的作用이 中心이 되어 發生된 現象으로, 앞으로 論하겠지만, 金屬表面에 있어서, 電位의 不均衡으로 말미암아 發生되는 電流를 同伴하기 때문이다. 이것에 反하여 電流의 受授를 隨伴하지 않는 純化學作用으로 進行되는 腐蝕現象이 實在하는데, 非水液體에 의한 腐蝕이 乾蝕에 相當하다. 또한 水中 또는 地中에 있어서 腐蝕이 되는 경우 嫌氣性細菌 及 鐵박테리아 等의 繁殖에 의해 腐蝕이 促進되는 細菌作用的인 腐蝕이 알려지고 있는데, 이것은 本質的으로 電氣化學的 作用과는 다르다. 또한 應力및 磨耗로 因한 機械的 作用과 關係가 있는 腐蝕現象이 있는데, 最近 이경우는 電氣化學作用과 함께 重要한 課題가 되고 있다

腐蝕, 特히 電氣化學과 混同되는 것이 電蝕(Electrolysis)이다. 이 電蝕現象은 電鐵의 軌道에서 地中에 流出되는 迷走電流에 의한 障害에 의해, 外部에서 流入되는 直流가 金屬體를 流出하는 곳에 局部的孔蝕을 일으키는 것으로, 自然히 일어나는 腐蝕現象으로 根本的으로 區別되는 것이다 實際에 있어서 腐蝕을 防止하는데에는 그 發生原因을 알아야할 必要가 있으므로 腐蝕의 樣式을 硏究하여 그 原因을 或은 程度의 判定을 한다. 그러면 다음에 普通 腐蝕의 樣式을 分類하여 解說코자 한다.

2-1. 全面腐蝕(General Corrosion)

腐蝕이 金屬의 全面에 걸쳐서 均等하게 생기는 것으로, 平均化하여 進行되는 까닭에 急速하지 않아 그 實害는 深刻하지 않다. 例컨대 大氣中의 腐蝕은 一般으로 이러한 形式에 屬하고, 또한 純化學的腐蝕 및 强酸中에서 鐵이 溶解되는 것이 이러한 경우이다.

2-2. 局部腐蝕(Local Corrosion)

腐蝕現象이 金屬表面의 一部에 集中的으로 發生하는 것으로, 다음과 같은 數種의 型이 있는데, 特히 小面積에 集中되어서 早期의 穿孔 및 龜裂을 일으키므로 甚히 有害하다. 이것은 主로 金屬面에 電位差가 場所에 따라 均等치 않은데 原因이 있다.

i) **孔蝕**(또는 點蝕 **Pitting Corrosion**) 腐蝕이 穿孔性으로 點狀이나 小孔狀으로 進行되는 것으로, 隣接한 表面이 全然 腐蝕을 받지않는것이 特徵이다. 溶液이 酸性일 경우 全面的으로 鐵의 腐蝕이 일어나는 反面에 液이 알카리性일때는 局部腐蝕이 일어난다. 一般的으로 腐蝕의 抑制가 不完全할 때 생긴다. 不銹鋼은 海水中에서 點蝕이 發生된다. 又는 腐蝕生成物 이나 沈澱物의 下部에 일어날 때가 많은데, 이것은 通氣差에서 發生되는 電池作用[金屬表面에 溶液안에까지 到達하는 空氣(又는 酸素)의 量의 差異로 일어나는 酸素濃淡電池]의 原因으로 생각된다. 腐蝕이 어느 線上에 걸쳐 進行되는 경우가 이 現象의 一種으로, 特히 溝蝕(Grooving)이라 부르며, 이것은 異種金屬의 接觸腐蝕의 경우에 이러한 形態가 많다.

ii) **瘤錆**(Tuberculation). 물이 흐르는 鐵管에 많이 나타나는 瘤錆은 孔蝕의 一形態로, 그 錆瘤(tubercle)은 孔蝕의 進行에 따라 陽極表面을 싸서 腐蝕生成物의 堆積物에 지나지 않게된다. 錆瘤는 最初로 通氣差電池의 作用에의해 腐蝕을 助長하는 것으로, 極度로 發達하면 不透性의 殼이 생겨 腐蝕을 오히려 抑制하는 效果가 있으나, 管內의 摩擦을 增大시켜 流量의 低下의 原因이 되기도 한다. 錆瘤內部의 量은 外部의 물보다 相當히 酸性이어서, Cl^-, SO_4^{-2}와 같은 陰 Ion의 濃度가 높고, 또한 黑錆(Fe_3O_4)이 存在하고, 경우에 따라서는 細菌이 繁殖되어 腐蝕을 促進시키는 데도 있다.

(3) 粒界腐蝕(Intergranular Corrosion)

金屬組織內의 結晶粒의 境界部에 있어서 腐蝕이 進行되는 경우로, 이로 因한 材料의 强度가 적어지고, 龜裂發生의 原因이 된다. 따라서 結晶粒의 脫落을 招來하여 蝕孔이 생긴다. 18-8 不銹鋼은 適當히 熱處理를 하지 않으면 熔接部 兩側에 이와같은 粒界腐蝕을 일으킨다.

4) **選擇腐蝕**(Selective Corrosion).

合金成分中의 一成分이 微視的規模로 選擇的인 溶出로 因해, 이에 따라 殘存成分에 의해 成立되는 多孔質組織을 만드는 腐蝕形態로, 例를들면, 黃銅에서 Zn이 溶出되어 銅色을 나타내는 脫亞鉛, 鑄鐵에서 Fe가 溶出되어 黑鉛化가 되는 것이 本 實例이다. 黑鉛化는 全面的으로 나타나는 일이 많고, 脫亞鉛은 局部的으로 發生하는 程狀인 反面에 全面的인 것은 比較的 層狀인 것이다.

5) **接觸腐蝕 또는 電池作用腐蝕**(Galvanic Corrosion).

異種金屬의 接觸部 附近에서 卑金屬面에 溝狀 또는 帶狀이 생기는 경우가 많은 局部腐蝕으로, 兩金屬의 電位差가 크고, 液의 電導度가 좋고, 또한 液의 運動이 활발할때 發生한다. 小面積의 卑金屬이 大面積의 貴金屬과 接觸할 때에 激化하므로, 卑金屬쪽을 比較的 大面積으로 하면 그와 같은 障害는 일어나지 않는다.

6) **隙間腐蝕** (Crevice Corrosion).

Ion濃度 또는 溶存 gas의 濃度가 相違한 溶液이 서로 接觸하면 濃淡電池作用에 의해 局部腐蝕이 생긴다. 實地的으로 많이 생기는것은 溶存酸素의 濃度差로 인한 通氣差電池作用에 의해 생기는 것이다. 따라서 細隙部及 多孔質의 附着物의 下部쪽에는 溶存酸素의 供給이 不充分한 곳이 있게되고, 그 部分에 腐蝕을 일으키게 된다.

3. 潰蝕·龜裂과 같은 機機作用에 關與하는 腐蝕

1) **應力腐蝕**(Stress Corrosion). 內部殘存應力, 또는 外力에 基因하는 應力이 存在하는 金屬組織에 腐蝕作用에 운동에 의해 생겨 龜裂되는 것도 一種의 腐蝕이나 龜裂은 前述한바와 같이 結晶性의 境界를 通한 粒界性인것으로, 結晶粒子의 內部를 一貫한 粒內性의 物質에 일어난다. 特히 繰返되는 應力이 있을경우는 腐蝕疲勞(Corrosion Fatigue)에 의한 粒內龜裂이 생기는 일이 많다. 泡罐의 알카리脆化(Caustic embrittlement), 黃銅管의 Season Cracking等은 이러한 實例이다. 一般的으로 應力腐蝕은 比較的 緩和한 腐蝕現象이나, 이것이 應力과 共同作用의 結果, 浸蝕이 현저하게 促進되는 것이다.

2) **擦過腐蝕**(Fretting Corrosion). 軸受部와 같은 滑動하는 二個의 金屬의 接觸面에 생기는 孔蝕으로, 火氣의 腐蝕性이 重要한 關係를 갖는 一種의 應力腐蝕이다.

3) **潰蝕**(Impingement Attack). 腐蝕의 原因이 되는 液이 高速으로 流過할때, 衝突로 因하여 생기는 局部腐蝕으로, 蝕孔에는 腐蝕生成物의 附着이 없이 金屬面을 露出시키는 것이 特徵이다.

이것은 腐蝕作用과 機械的作用(磨耗)의 相乘效果에 의해 急速한 損傷을 일으키는 것으로, 液中에 氣泡가 含有되어 있으면 一層激化된다. 펌푸, 프로펠라, 발브

파이프의 屈曲部, 冷却器의 파이프入口部等에 發生되는 Cavitation-erosion(高速으로 運動하는 液體內의 低壓部에서 發生하는 空洞이 그 高壓部가 崩壞할때에 隣接하는 固體表面에 커다란 衝擊力을 주어서, 이 때에 固體表面에 潰蝕을 생기게 한다) 이 이러한 類型이다.

4) 磨耗腐蝕(Erosion). 液體(또는 氣體)의 磨耗作用을 수반하는 腐蝕으로, 液中의 固體粒子에 의한 腐蝕이 加速되는 경우도 包含된다. 上記의 潰蝕은 erosion의 一種이다.

4. 물에 의한 腐蝕의 機構

물에 의한 腐蝕에 關한 基礎理論은 19世紀初頭에 英國의 Davy, Faraday, 伊國의 Volta 等이 電氣化學的 硏究로 發端하였다. 當時에는 本現象이 電池의 作用에 類似한 反應으로 생각하였다. 그後에 腐蝕問題를 專門的으로 硏究하게 된것은 20世紀에 들어가서, 1903年 美國의 Whitney는 鐵의 腐蝕에 對해 電氣化學的 反應을 重視하였고, 그後 共同硏究者 Walker에 의해, 水中에 溶存하여 있는 酸素가 重要한 役割을 함을 糾明하는 同時에 腐蝕을 促進시키는 條件으로 液中의 遊離炭酸의 存在가 반드시 必要치 않다는 것을 判明하여, 當時 腐蝕硏究에 劃期的인 進步를 보여 주었다.

腐蝕의 電氣化學說은 오늘날에 와서는 單純히 推測에 얽매인 理論이 아니라 많은 實驗硏究에 의해 確認된 事實이다. 이 理論에 의하면 液中의 金屬表面에는 여러가지의 原因으로 電位(差)*를 달리하는 部分이 實在하여, 그 結果, 無數한 局部的 短絡電池가 形成되어 陽極部**에 相當한 金屬表面이 腐蝕되는 것이다. (Fig. 1)

이와같은 腐蝕電池를 形成하는 原因은 여러가지가 있는데, 그 內部因子로는, 金屬의 組成, 組織, 表面狀態 內部應力, 溫度差等으로 大部分 金屬側에 해당되는 因子이다. 다음에 外部因子로는 溶液側에 基因되는 것으로, 金屬表面에 接한 溶液이 部分的으로 Ion濃度, 溶存酸素量, 溫度, 流速等에 差異로 말미암은 局部電池의 形成이 이루워진다(Fig. 2).

水素에 對해 Ion化傾向이 큰 金屬(卑電位)의 경우

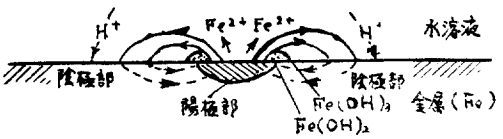

그림 1. 局部電池

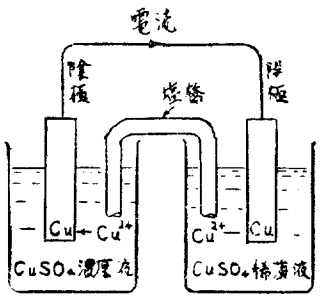

그림 2. 이온濃淡電池

는, 置換作用에 의해 金屬이 溶出되어, 液中의 水素 Ion과 放電되어서, 水素가 發生하는 同時에 金屬이 溶出腐蝕을 일으킨다. 이와 같은 置換作用은 金屬表面의 局部電池에 의해 助長되나, 根本的으로는, 水素 Ion의 放電으로 水素電極과 作用하여 高電位의 陰極部分과 金屬이 Ion이되어 溶出되는 金屬電極과 作用하여 陽極部分으로 構成되는 廣義의 局部電池의 作用으로 돌아가게된다.

이와 같은 局部電池作用 또는 置換作用을 土台로해서 水中에 鐵이 腐蝕되는 狀況을 模型的으로 나타내면 Fig. 3과 같다.

여기에서 基本反應은 다음과 같이 表示할수 있다.

$$\text{陽極部}: Fe \longrightarrow Fe^{+2} + 2e^- \quad (1)$$

$$\text{陰極部}: 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2 \quad (2)$$

$$\text{또는 } 2H^+ + \frac{1}{2}O_2 + 2e^- \longrightarrow H_2O \quad (3)$$

腐蝕이 電氣化學反應만으로 進行되는限 電荷의 均衡

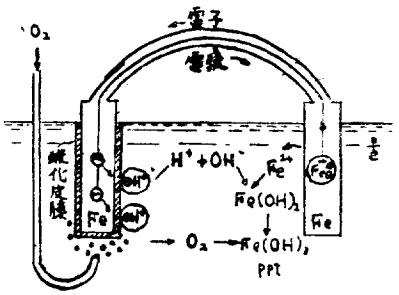

그림 3. 酸素濃淡電池

* 金屬과 液과의 界面에 電位差가 있는데, 一般으로 이것을 電位라고 부른다.

** 陽極과 陰極을 定義하는데 從來 많은 混亂을 일으키는 傾向이 있으므로, 여기서는 國際的慣習에 따라 다음과 같이 決定한다. 卽, 電池의 경우와 電解의 경우를 합하여, 正電流가 液中에 流出되는 表面을 陽極(Anode), 反對로 液中에서 金屬에 流入되는 表面을 陰極(Cathode)이라고 부른다. 따라서 腐蝕現象의 경우는 陰極이 되는 金屬은 高電位(Noble)이고, 陽極이 되는 金屬은 低電位(Base)가 된다.

을 保持하고자 하므로 上記의 陽極反應(1)과 陰極反應(2) 또는 (3)은 同時에 同量으로 進行할 必要가 있다. 이 兩種의 電極反應은 한쪽이 進行을 停止하면, 다른 쪽도 스스로 停止하는 性質이 있다. 一般的으로 물의 경우 陽極反應은 比較的 速히 進行되고, 陰極反應의 速度는 느리고 이것이 全體의 反應速度를 決定한다*. 이러한 경우 酸性이 强하면 (2)式과 같이 反應이 되어 H_2의 發生反應을 수반하는 水素發生型의 腐蝕이고, 그外 경우는 (3)式으로 나타낼수 있으며 酸素에 의한 復極反應에 支配되는 酸素復極型의 腐蝕이 일어난다.

以上의 電氣化學反應에 의한 過程을 간추려 보면, 물이 相當한 酸性이 아닌限, 金屬水酸化物(所謂, 錆)의 生成은 純化學反應에 의한 過程이 隨伴된다. 따라서 狀況에 있어서는, 이것이 全體의 腐蝕速度를 決定한다. 前記 陽極反應으로 생기는 金屬 Ion과 陰極反應의 結果 생기는 水酸 Ion과는 다음 式과 같이 反應된다.

$$Fe^{+2}+2\,OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2 \qquad (4)$$

生成된 水酸化第一鐵은 液中의 溶存酸素와 反應하여 水酸化第二鐵이 赤錆으로 沈澱된다.

$$Fe(OH)_2+O_2 \longrightarrow Fe(OH)_3 \qquad (5)$$

이 赤鏽(正確히는 $Fe_2O_3\cdot H_2O$)은, 물이 酸性이 아닌限, 鐵의 腐蝕에 있어서 最終生成物이므로, 酸素의 到達量이 充分치 않을 경우에는 그 中間的生成物의 磁性酸化鐵($Fe_3O_4\cdot H_2O$), 卽 黑錆이 생기게 된다.

電位系列**에 있어서 水素에 의한 貴金屬(例 Cu)의 경우는 陰極部로 水素 Ion의 放電은 일어나지 않고, 다음 式과 같은 反應이 일어난다.

$$\text{陽極部}: Cu \longrightarrow Cu^{+2}+2\,e^- \qquad (6)$$

$$\text{陰極部}: \frac{1}{2}O_2+H_2O+2\,e^- \longrightarrow 2\,OH^- \qquad (7)$$

이와 같이 陽極部에 金屬 Ion, 陰極部에 水酸 Ion이 생기게 되고, 계속해서 溶液中에서 $Cu^{+2}+2\,OH^- \longrightarrow Cu(OH)_2$의 Ion反應에 의해서 水酸化物(錆)이 생기는 것은 卑金屬의 경우와 같다.

水中에서 腐蝕을 防止하자면 이와같은 一連의 反應을 阻止하는것으로, 여기에 第一段階의 電氣化學反應을 阻止하는 것이 最下의 根本對策이다. 또한 水中의 溶存酸素를 除去하면 一般的으로 陰極反應(3)을 抑制하게되고, 液中의 Fe^{+2}의 酸化沈澱反應(5)을 遲延시켜 防蝕上 有效하다.

* 腐蝕作用의 進行速度는 陰極이나 陽極에 있어서 分極에 의해 減速되고, 復極에 의해서는 增速된다.

** 電位系列 各種金屬의 電解質溶液에 對한 電極電位를 高低의 順으로 羅列한 系列로, 그 金屬 Ion의 活量이 1인 水溶液에 對한 系列을 標準電位系列이라 한다.

溶液이 알카리性인 경우는 錆이 金屬表面가까이 沈澱되어서 陽極部를 싸서 腐蝕이 抑制되나, 一般的으로 錆은 金屬面에서 떨어져나가, 다른 곳에 沈澱되어 腐蝕抑制에 別無效果이다.

水溶液中에 金屬이 腐蝕할 경우는, 위에 말한 腐蝕의 進行速度에 比例해서 腐蝕電流가 金屬과 溶液間을 흐르게 되므로, 여기에는 電流에 關한 옴의 法則이 相當히 關係된다. 腐蝕電流 I라면, 腐蝕反應의 進行速度는 腐蝕反應의 原動力(腐蝕傾向 E)에 比例하고, 反應에 對한 抵抗 R는 逆比例한다.

$$\text{卽}\quad I=\frac{E}{R}=\frac{(E_c-E_a)-(P_c+P_a)}{R_t+R_m}$$

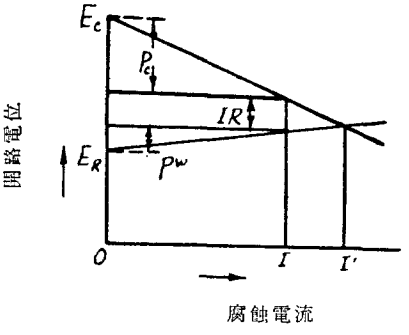

그림 4. 腐蝕電池의 電壓, 電流關係

여기서 E_c, E_a는 各各 陰極, 陽極의 電位, P_c, P_a는 各各 陰分極, 陽分極, R_t는 溶液內의 電氣抵抗, R_m는 金屬內의 電氣抵抗을 나타낸다. 이와같은 關係는 Fig. 4와 같다. 上式에서 一般으로 R_m는 R_t에 比해 적고, 腐蝕反應의 抵抗은 主로 溶液中의 電氣抵抗으로 決定된다. 卽 腐蝕傾向에 變化가 없는限, 腐蝕速度는 溶液의 電導度가 增加함에 따라 上昇한다는것을 알수 있다.

다음에 腐蝕傾向 E는 E_c-E_a, 卽 局部電池의 陰極과 陽極間의 開路電位差가 클수록 크고 또한, P_c+P_a, 卽 兩極의 分極이 增大할수록 減少되는 것이다. 前者 E_c-E_a는, 一般으로 E_a가 金屬과 金屬 Ion과 사이에 電極電位, E_c는 金屬表面에 水素가 存在時, 酸素에 의한 gas電位로 생각된다.

5. 腐蝕에 影響을 미치는 諸因子

1) 內部因子(金屬側으로본 因子).

腐蝕의 發生原因을 일으키는데, 그 進行을 左右하는 要因은 여러가지 因子가 있다. 前節(3)에서 記述한바와 같이 腐蝕의 發生原因은 金屬體 自身의 側에 存在하는 因子(內部因子)와 環境, 또하나는 金屬에 接하는

液體의 側에 存在하는 因子(外部因子)로 나누어 생각할수 있다.

內部因子라 함은 金屬組成의 不均一性, 金屬組織(不均一相, 偏析, 介在物, 結晶方向等), 熱處理 條件, 殘存應力, 表面仕上, 等의 不均一性을 意味한다. 그러므로 金屬材料의 製鍊, 加工에 있어서 特別한 注意를 하여, 이러한 內部因子를 極力排除치 못하는限, 實際 耐蝕性을 改善할수 없다. 그러나 이러한 內部因子를 成功的으로 處理하였다하여도, 腐蝕性을 左右하는것은 外部因子에도 적지 않은 比重을 찾이 하고 있다.

從來 腐蝕에 의한 障害의 原因을 단지 金屬材料의 材質不良에 의한것으로 생각되었었으나, 實際 많은 경우에, 眞 原因은 腐蝕環境에 있다는 事實을 알수가 있다. 다음은 主로 鐵鋼에 對해서 그 組織等의 內部因子가 耐蝕性에 주는 効果에 對해 述하고자 한다.

(1) 組成의 影響. 現在로 天然水中에 鑄鐵, 鍊鐵 또는 炭素鋼의 腐蝕度는 같은 程度이다. 그러나 酸性液中에서는 金屬組織이 다름에 따라 큰 差異가 생긴다. 鑄鐵은 푸에라이트 白色鑄鐵은 세멘다이트(Fe_3C), 또는 鼠鐵鑄로는 黑鉛과 세멘다이트를 含有한다. 세멘다이트, 黑鉛이 푸에라이트와 共存하면 이와같은 成分間의 電位差에 의해 腐蝕이 促進된다. 鼠鑄鐵은 鹽水, 坑內氣, 稀酸, 等에 腐蝕을 받아 黑鉛化된다. 白色鑄鐵은 黑鉛化를 일으키지 않는다.

水素發生型의 腐蝕으로는 鑄鐵이 軟鋼보다 速히 腐蝕된다. 天然水에 의한 腐蝕은 溶存酸素의 擴散에 支配되고, 鹽基性 平爐鋼과 酸性轉爐鋼間에는 현저한 差異가 없다. 그러나 轉爐鋼은 粒界의 應力腐蝕에 敏感하다.

(2) 合金元素의 効果. C: 淡水의 경우, 鐵中의 C量은 腐蝕速度를 決定하는데 그리 重要性이 있지 않다. 海水中에는 C가 많으면 腐蝕速度가 조금 올라갈 程度이다. 이것에 對해 酸性液中에는 C量의 影響은 熱處理 條件에 따라 複雜하며, 또한 Cu와 같은 微量成分의 効果에 따라 複雜하다. 一般으로 C量의 增加에 따라 腐蝕速度가 增加된다(Fig. 5).

特히 高炭素鋼은 低炭素鋼보다 硝酸에 對해 一層不動態化인 것이다. 炭素鋼은 硫酸, 硝酸의 混酸에 對해 抵抗性이 있는 點으로 有利하다.

C量을 0.009에서 0.28%로 높이면 粒界性의 應力腐蝕에 對해 抵抗을 增加시킨다.

N: 鐵鋼中에 N가 存在하면 알카리 또는 硝酸鹽溶液의 應力腐蝕이 일어나는 傾向이 짙다. Al을 包含한 鋼은 應力腐蝕에 一層 耐蝕性이다.

Nn, S, P, Si: 이러한 元素는 普通 鋼中에 包含된 量

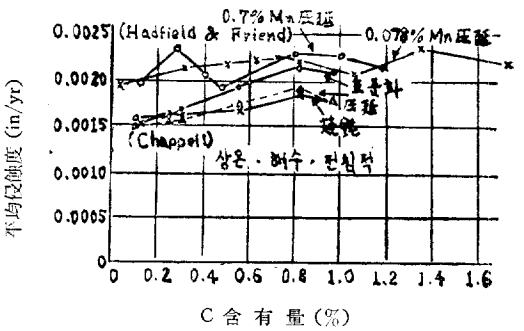

그림 5. 鐵鋼의 腐蝕性에 대한 C 含有量의 영향

程度로는 淡水 및 鹽水中의 腐蝕速度에 對해 현저한 影響을 주지못한다. 酸中의 腐蝕에 對해, Si는 少量이던 영향이 없으나, 14~15%에 達하면 耐酸性이 현저히 增加한다.

Mn, S, P의 存在는 酸中의 腐蝕을 增大시키는 傾向이 있고, Mn은 S나 P보다는 그 影響力이 적다.

Cu, Cr, Ni: 少量의 Cu나 Ni는 淡水 또는 鹽水中 鋼의 腐蝕度에 對해 無影響이다. 그러나 空氣中에는 이러한 金屬의 存在가 有利하다.

Ni은 硫化水素含有油井鹹水에 鋼의 腐蝕疲勞抵抗性을 增大시키는데 有効한 元素이다. 硫化水素가 없을 경우 Cr도 有効하다.

Cr을 約 3%添加한 鋼은 淡水中 最大孔蝕의 깊이를 減少시킨다. Cr 12%以上의 Cr-Fe 合金도 耐蝕性이다.

P 또는 S를 包含한 鐵에 Cu를 添加하면 硫酸, 鹽酸中의 腐蝕速度를著減하 하나, P, S 含量이 적은 鋼에 對한 Cu의 添加効果는 僅少하다.

(3) 加工 及 熱處理의 効果. 限界溫度以上의 高溫으로 燒入한 炭素鋼은 燒入後 다시 熱處理한것은 海水, 또는 蒸溜水中 腐蝕速度가 적은것이 確認되었다. 卽 850°C에서 燒入한 0.38%의 鋼은 靜止蒸溜水中에 9個月 浸漬하여서 0.1 mm/yr이다. 이것에 對해 같은 鋼을 300~800°C로 再熱處理한것이 같은 條件下에서 0.08 mm/yr이다. 이러한 限界溫度以上으로 燒入한 炭素鋼은 海水中의 腐蝕速度를 低下시키지 못하나, 再熱處理한 鋼은 이를 低下시킨다. 特히 一般的으로 天然水中 炭素鋼의 腐蝕速度에 對해 熱處理가 크게 影響을 미친다.

酸中에도 그 影響이 커서, 燒入鋼은 1% 硫酸中에는 腐蝕이 最少를 나타낸다.

酸素의 擴散이 腐蝕을 左右하는 경우는 冷間加工이 크게 効果를 나타내지 못한다. 이것은 海水中 浸漬試

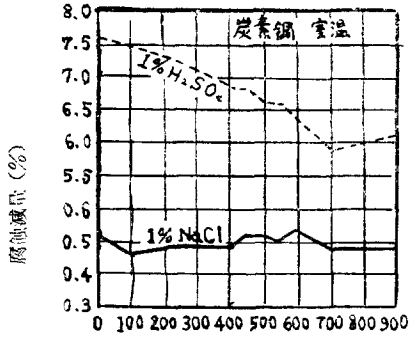

그림 6. 冷間加工에 있어서 燒戾의 영향 (Uhlig)

驗으로 밝혀 졌다. 이 試驗結果는 Fig 6.에 表示되어 있다.

水素를 發生하는 型의 腐蝕으로는 內部應力을 徐徐히 함을 適用해서 熱處理하면 그 効果가 明瞭하다.

鐵鋼의 腐蝕疲勞에 影響이 되는 因子로는 振動의 影響을 생각하여야 함으로 여기서는 省略하겠다.

鐵의 降伏點附近까지 應力을 加하면 熱濃알카리溶液中에서 一種의 應力腐蝕이 생긴다. 沸點이 있는 33% 苛性소다 溶液은 0.13%의 硝酸소다를 含有한 鋼의 應力腐蝕을 促進시킨다는것을 알고 있으므로, 高壓罐의 물에 硝酸소다를 苛性소다알카리度의 約 40%의 量까지 加하는 것도 이를 防止하기 위한 것이다.

2) 外部因子(環境側에서 일어나는 因子)

(1) 溶存酸素의 影響. 普通 天然水에서 鐵의 腐蝕은 그 陰極部의 反應, 特히 水素의 酸化反應(3)式에 의해 그 進行이 支配된다. 따라서 腐蝕速度는 當然 液中에 溶存한 酸素의 濃度에 따라 增減된다. 水中의 溶存酸

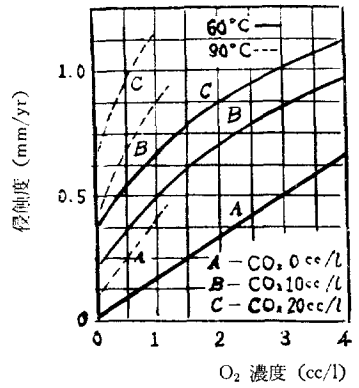

그림 7. 軟鋼(C. 0.15)의 腐蝕에 대한 CO_2의 영향(5 hr. 試驗流速 45 cm/min) (Skaperdas & Uhlig)

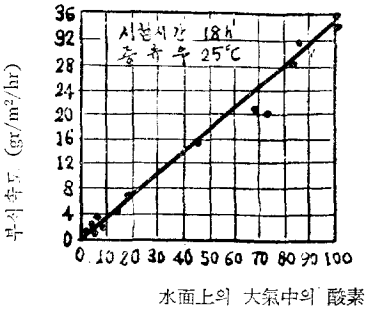

그림 8. 鉛의 腐蝕에 대한 O_2의 영향(Burns)

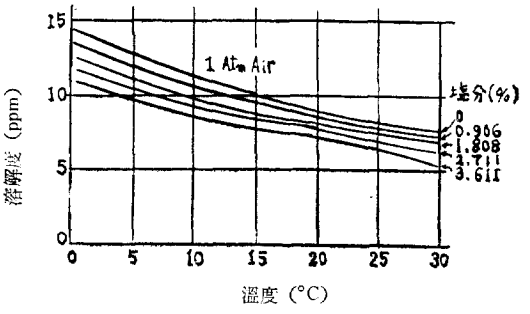

그림 9. 海水中의 酸素의 飽和溶解度(Uhlig)

素量과 軟鋼(C. 0.15%)의 侵蝕度와의 關係를 Fig. 7에 또한 鉛의 侵蝕度와의 關係를 Fig. 8에 表示되고 있다. 純水及 海水中에 있어서 酸素의 飽和溶解量을 Fig. 9에 나타냈다. 原則的으로 酸性의 液으로는 (2)式의 反應, 中性, 알카리性은 (3)式의 反應이 일어나나, 嚴密히 말하면 兩者가 併行하여서 일어나는 경우가 있다. 一般으로 酸素復極型의 腐蝕이 일어나는 中性·알카리性溶液中에는 鐵의 表面의 水酸化第一鐵의 被膜으로 싸이게 되므로, 腐蝕反應速度를 決定하는 溶存酸素는 擴散에 의해 膜을 뚫고 들어가는 作用을 開始한다. 鐵의 表面은 接해 있는 水中의 溶存酸素가 消費되어 없어지면 腐蝕作用을 일으키지 못하므로, 水中의 酸素를 除去하는 脫氣方法이 有力한 防蝕方法이 된다. 計算에 의하면 1 cm^2의 鐵面에 空氣를 飽和시킨 물 1 l中의 酸素가 完全히 反應하였다고 假定하면, 鐵은 0.025 mm의 깊이까지 侵蝕된다.

特히 溶存酸素는 局部電池를 形成하는 有力한 原因이 되며, 腐蝕傾向을 助長시키는 二重의 役割을 加한다. 따라서 金屬에 接하고 있는 물속은 酸素濃度가 極히 不均一하므로 一種의 濃淡電池(다시 말해서 通氣差電池)을 만들어, 腐蝕을 일으킨다. 鐵, 其他 많은 金

屬에 있어서 酸素의 不足으로 因한 表面은 陽極으로 되면서 腐蝕한다. 그러므로 水中 鐵表面의 一部에 두꺼운 錆과 같은 附着物이 있어서, 그 下面의 鐵이 腐蝕을 일으킨다. 또한 一部에 細隙이 있어서, 그 內部는 酸素의 補給이 充分치 못하여, 그 部分은 局部的으로 腐蝕된다.

水線部의 金屬에 局部腐蝕이 발생되는 理由가 이러한 通氣差電池의 作用으로 說明할수가 있다. 이것은 메니스까스部는 通氣가 좋으므로 陰極으로 되어서, Mg, Ca, 를 主르 하는 析出物이 생기고, 이러한 被膜이 通氣를 遮斷시켜 스—케일의 直下部가 陽極으로 되어 局部的으로 腐蝕되는 것이다. 特히 溶存酸素의 第三의 役割로 不動態化作用이 重要하다. 狀況다음으로서, 높은 濃度의 溶存酸素는 金屬面의 防腐性이 높은 酸化被膜을 만들어 腐蝕을 一層 抑制한다. 鐵의 電位(水素電極基準)은 普通의 酸素飽和水(25°C 에서 6 cc/l)로는 −0.4 ~0.5V인데, 이것이 不動態化하면 +0.1~+0.4V와 같은 高電位로 變한다.

이러한 不動態作用은 水質에 따라 左右되는데 Cl^- 의 存在與否, 또는 pH에 의해서 크게 變한다. 換言하면 1) 微알카리性(pH 8)의 물로는, 腐蝕速度가 溶存酸素量 約 16 cc/l 까지는 增大하나, 酸素濃度가 계속 增加하면 腐蝕은 無視할만큼 減少된다. (그러나 孔蝕의 傾向을 일으킨다)

2) 中性(pH 7)인 물의 경우, 腐蝕은 16~20 cc/l 까지 增大하나, 이것을 넘으면 腐蝕은 減少된다.

3) 微酸性(pH 6)인 液은 不動態가 생기며, 腐蝕은 酸素濃度에 따라 增大된다.

만일 酸素가 없는 곳에는 嫌氣性細菌에 의해 腐蝕이 심하게 促進되는수도 있다. 硫酸鹽還元性菌細이 存在하면, 鐵은 空氣가 없어도 腐蝕을 받는다. 이러한 細菌은 深井戶, 地中, 海中에 存在한다. 이런 菌은 代謝過程에서 硫酸鹽을 酸化物로 變化시키는 同時에 鐵의 分極을 復極化하여 腐蝕이 進行된다. 이러한 細菌腐蝕은 冷水를 流體로한 亞鉛鍍金파이프를 僅 2年만에 廢物化 시킨다. 이러한 細菌의 繁殖은 通氣를 한다든가, 물에 鹽素를 添加하여 防止하면 된다.

2) pH의 影響

Whitman에 의하여 鐵의 腐蝕速度와 물의 pH와의 關係가 옛날부터 發表되었다(Fig. 10).

通常 天然水의 pH範圍로는, 鐵의 表面이 水酸化第一鐵의 被膜으로 싸이여 있으면 pH 約 9.5의 水酸化第一鐵飽和溶液과 接觸되어, 腐蝕速度는 液中의 眞 pH 値에 거의 無關係하나 被膜을 通한 酸素의 復極作用으로 決定된다. 따라서 液中의 酸素濃度가 重要한 因子

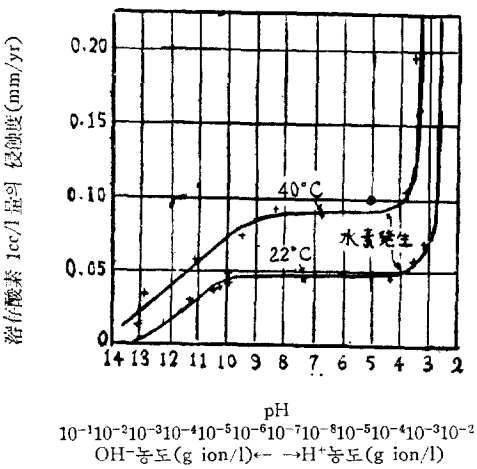

그림 10. 軟鋼의 腐蝕에 있어서 pH의 영향(Whitman, Russel)

이나, 鐵面의 成分 및 不純物은 腐蝕速度에 현저한 영향을 주지는 못한다. pH 9.5 以上의 알카리性은 鐵表面의 水酸化溶解度가 減少함에 鐵은 當然 不動態化되어, 當然 腐蝕이 低減된다.

酸性이 强한 물에 있어서는 水酸化物이 녹아 없어지므로, 水素發生의 主要한 陰極反應이 일어나나, 腐蝕速度를 支配하는것은 酸素濃度가 아니라, 水素過電壓의 大小에 있다. 따라서 鐵材의 成分, 表面狀態等이 重要한 因子이다. 이러한 水素發生이 생기는 pH 限界는 酸의 種類에 따라 다르고, 대개 4~6 사이에 있으며, pH에 의한 全體의 遊離酸素가 腐蝕을 決定하는 因子라고 생각한다.

(3) 炭酸의 影響

液中의 炭酸을 考察하면 이것이 腐蝕進行에 必要不可缺한 것은 아니나, 天然水의 腐蝕에는 깊은 關係가 있다.

液中 重炭酸칼시움[$Ca(HCO_3)_2$]이 溶存하면 陰極面에 炭酸칼시움($CaCO_3$)의 防腐蝕被膜을 形成하므로. 重炭酸鹽을 溶存시켜야 할 必要한 CO_2의 差度가 없으니까 이 以上의 餘分의 CO_2, 遊離炭酸의 存在는 腐蝕을 增加시키는 有害한 存在이다.

여기에 複水에 의한 軟水中에 녹아 들어가는 CO_2는 심히 腐蝕性을 나타낸다. 그러나 遊離炭酸의 影響은 溶存酸素의 영향보다는 그 影響力이 적다(Fig. 11).

Fig. 12는 水中에 添存되어 있는 遊離炭酸, 重炭酸鹽 及 炭酸鹽의 比率과 pH 과의 關係를 나타 낸것이다.

(4) 溶解成分의 影響

食鹽, 鹽化카리 같은 알카리金屬鹽化物이 溶解되면은 腐蝕量이 增大된다. 이것은 ⓐ 물에 電導度上昇에

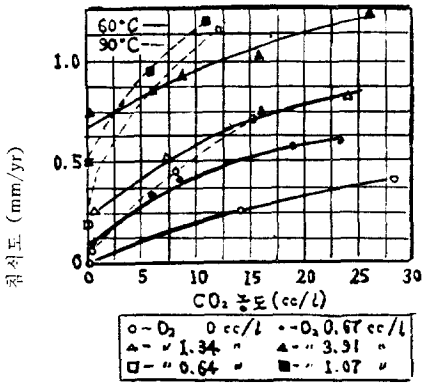

그림 11. 軟鋼(C. 0.15%)의 腐蝕에 對한 溶存 CO_2의 영향(5hr 試驗, 流速 45 cm/min) (Skaperdus & Uhlig)

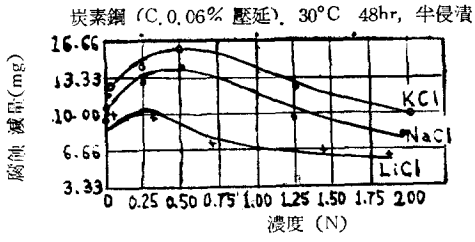

그림 12. 鋼腐蝕에 있어서 水中의 溶解成分의 영향(Uhlig)

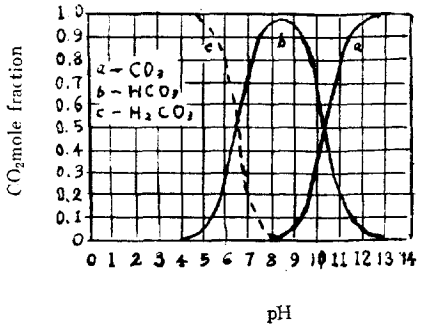

그림 13. 遊離 또는 結合 CO_2의 分配率(Speller)

따라 局部電流가 增大되고, ⑥ 陽極生成物과 陰極生成物이 金屬面에서 떨어져 나가는 곳에 沈澱을 만드는 結果, 防蝕性이 적은 層을 만든다. 따라서 約 0.5 N을 最高로 해서 그 以上의 濃度로 腐蝕 漸減하고자 하면 液中의 酸素溶解度가 減少하여야 한다(Fig. 13).

註, 海水는 0.5 N 食鹽水, 卽 約 3%에 相當.

(5) 硬度의 影響

普通의 天然水는 炭酸鹽硬度를 갖고 있으므로, 陰極部에 炭酸칼시움을 析出시켜, 그 部分에 있어서 金屬面에 酸素의 到達을 妨害해서, 水素分極을 保持하므로 어느 程度 腐蝕을 抑制하는 能力이 있다. 一般으로 물이 炭酸칼시움을 析出하는 傾向을 나타내는 尺度로 飽和指數 Saturation Index가 採用된다. 이에 反하여 蒸溜水, Ion交換을 行한 不純物을 除去한 純水와 軟水는 그와같이 腐蝕의 自己抑制作用을 갖지않는 以上, pH에 對한 緩衝作用이 作用되지 못하므로, 使用中에 酸性이 된다.

工業都市에서 循環使用되는 冷却水는 이와같은 軟水가 空中의 SO_2, CO_2等을 吸收하여 酸性을 나타내고 있다.

最近 New York에서 調査結果, 이와같은 冷却水의 pH가 3~4까지 떨어지는 경우가 적지 않음이 밝혀 졌다.

空氣가 飽和된 軟水中의 軟鐵의 平均 腐蝕度는 0.05~0.15 mm/yr인데, 孔蝕이 생기면 孔蝕의 最大速度는 위 값에 約 10倍, 또는 그 以上에 相當한다. 海水中의 均一腐蝕에 對한 平均腐蝕速度는 0.125 mm/yr이다.

(6) 溫度의 影響

腐蝕速度에 對한 溫度의 影響은 單純한 反應의 의해 10°C 上昇에 따라 約 2倍로 增大된다. 一般으로 腐蝕速度가 酸素의 擴散速度로 決定되는 경우가 많고, 이 경우는 30°C 上昇에 2倍, 10°C 上昇에 30%內外增加된다. 密閉容器內는 鐵의 腐蝕速度는 溫度에 따라 直線的으로 增大하는데, 開放狀態로는 約 80°C로 最大가 되며, 이와같은 高溫은 水中의 溶存酸素가 減少되므로 腐蝕速度가 急速히 減少되고, 沸點이 심히 낮은 값 또는 低下된다. (Fig. 14)

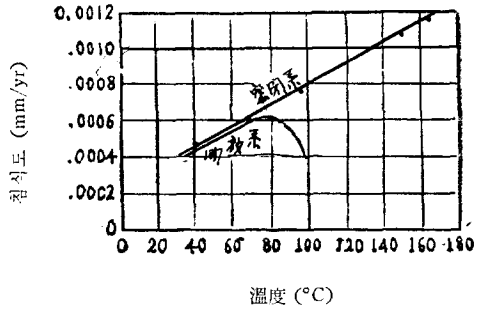

그림 14. 鐵의 腐蝕 및 그 溫度의 영향(Heyns U. Bauer)

亞鉛, 알미니움, 黃銅等의 腐蝕은 70~80°C 附近에서 最大値를 나타낸다. 亞鉛의 경우는 水質에 따라 多少變한다.

表面에 나타난 腐蝕生成物이, 溫度에 따라 性狀을 달리 하는것이 腐蝕性에 크나큰 影響을 준다. 이러한 것은 亞鉛이 高溫에 있어서 電位의 逆轉과 關係가 있다고 생각된다. 金屬表面의 腐蝕生成被膜의 溶解度가 溫度에 따라 變하면 그 腐蝕速度도 變하게 된다. 卽 高溫은 表面의 皮膜을 溶解시킬경우 그 腐蝕은 當然 速하다.

水素發生型의 腐蝕에 있어서, 腐蝕은 30°C 上昇에 倍以上 增大한다. 이것은 水素過電壓이 高溫에서 減少하므로, 水素發生型의 腐蝕이 일어나기 때문이다.

다음에 反應系의 溫度에 있어서 이와같은 系內各部에 溫度差가 存在하면 腐蝕의 原因이 되는 重要한 bactor이다. 이것은 溫度差에 의한 局部電池의 作用이 일어나기 때문이다.

例를 들면 鐵은 高溫部가 低溫部에 對해 陽極이 되어서, 濃度 0.125~3%의 食鹽水中 25°C와 100°C 사이에는 最大 24 mV에 達하는 電位差를 생기게 한다.

(7) 流速의 影響

물의 流速이 腐蝕에 주는 影響은 심히 複雜하다. 微弱한 運動은 오히려 靜止狀態에서 일어나는 濃淡電池에 基因한 局部腐蝕의 傾向을 없애는 點이 있으니까, 一般的으로 물의 運動은 液中의 溶存酸素의 補給을 助長함에 따라 金屬表面의 靜止한 腐蝕生成物의 層 두께를 減少시켜, 이 層을 通해 擴散되는 酸素의 量을 增加시켜, 腐蝕의 加速을 招來한다.

運動에 의한 攪亂은 局部電池를 形成하여 腐蝕의 原因을 增大시킨다. 溶液中에 酸素의 溶存이 없을 경우, 金屬과 接觸되는 液의 流速이 同一하지 않을 때 高流速에 接하는 金屬面은 陽極化되어 腐蝕을 받는다. 溶存酸素가 充分히 存在할 경우, 鐵, 알미늄 等 많은 金屬에 있어서는 高流速의 表面은 不動態化되어 高電位의 陰極化되고, 低流速의 表面이 陽極化되어 腐蝕되므로, 銅이나 銅合金으로는 依然 高流速의 表面이 腐蝕을 받는다.

水中의 鐵腐蝕度는 流速이 增加함에 따라 처음에는 增大되나, 流速이 一定한 값 또는 이 값을 넘으면, 鐵面에 充分한 酸素를 供給하여 不動態化를 일으켜 腐蝕은 점차 減少한다(Fig. 15).

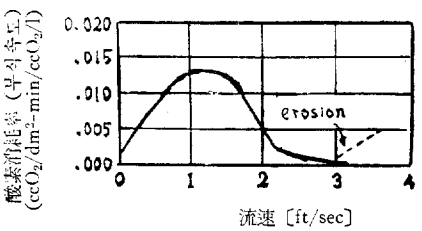

그림 15. 淡水中의 鐵의 부식에 있어서 流速의 영향 (Capson)

이런 腐蝕量이 增大値를 나타내는 流速은 溶存酸素量, 溫度에 따라 變化한다. 特히 液溫및 水質에 의한 影響은 濃鹽水中에는 7.6 m/sec의 流速까지 腐蝕이 增加를 계속하여, 極大値를 나타내지 않는다. (Fig. 16) 淡水中에는 前記한바와 같이 流速이 增加함에 따라 腐蝕은 最初에 增大하나, 다음에 減少하고, 그後는 潰蝕作用에 의해 不動態의 被膜이 破壞되어서 다시 增大한다.

여러種의 管徑에 따른 鋼管에 鹽水를 흘려서, 2.4 m/sec까지의 流速에 對해 腐蝕은 水速에 따라 增大된다 (Fig. 17).

高流速의 경우 腐蝕速度는 低流速에 比해 4~30倍에 達하고, 一般으로 高溫이고 管徑이 적은 것이 腐蝕速度가 높다. 이런 경우는 鹽水中에서도, 高流速下에 防蝕被膜을 形成치 않아 極大値를 나타내지 않는다.

非常히 높은 流速의 水流內인 경우 그 內部는 심한 低壓部를 생기게 되는 關係로 眞空孔을 (空洞)을 일으켜, 이것이 高壓部에 移行함에 따라 金屬表面에 對하

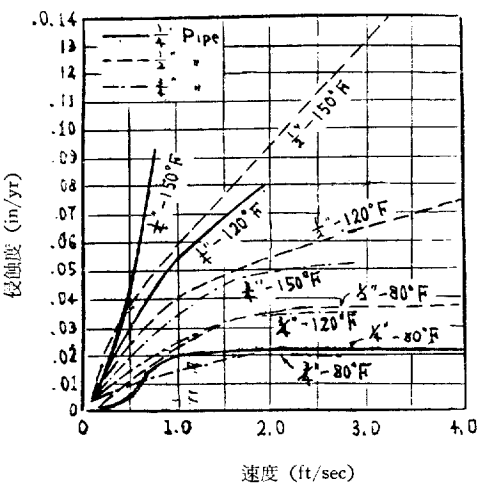

그림 16. 流水에 의한 鐵管의 부식에 있어서 管徑의 영향 (Speller)

여 衝擊을 주어 潰蝕, 卽 Cavitation erosion를 發生시키게 된다.

Cavitation erosion의 機構에 對해서는 古代로부터 機械作用說과 對立하여 왔다. 前者는 이 現象이 더욱 격렬한 衝擊에 基因되는 破壞에 의한 것이지 腐蝕作用에 의한 것이 아니라고 생각하는 反面에, 이에 對한 後

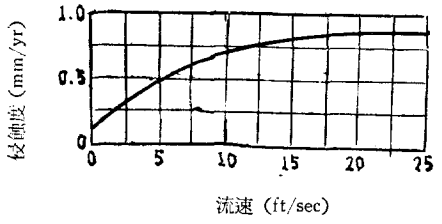

그림 17. 海水에 의한 鋼의 부식에 있어서 流速의 영향 (Uhlig)

者는 本質的으로 化學的 또는 電氣化學的인 腐蝕作用이며, 衝擊作用은 단순히 表面의 腐蝕生成物被膜을 迅速히 除去하는 役割을 할 따름이라고 主張하였다.

結 言

以上 論述한 水質의 影響 및 이로 因하여 發生되는 腐蝕作用은 實로 複雜하고도 廣範圍하다.

過去 물은 한낱 食水나 田畓水로 거의 自然水 그대로 使用되어 왔었다. 그러나 産業이 發達됨에 따라, 날로 增加되는 各種 工場建設 및 工場稼動에 따라서 必然的으로 莫大한 量의 工業用水를 需要하게 되었고, 따라서 이 用水質에 起因되는 여러가지 影響을 硏究케 된것이다. 前述한바와 같이 이러한 水 및 물이 各種 工場이나 施設에 미치는 損失額은 莫大할뿐만 아니라, 이로 因한 事故 및 人命被害도 적지 않게 發生된다.

따라서 이러한 原因을 正確하게 파악하고, 이에 對한 防止策을 講究하지 않으면 안된다. 卽 이러한 對策으로 防蝕法이 대두되었으며 오늘날 이에 關한 硏究가 活潑하다.

本 論에서는 防蝕에 對하여 論及하지 않았으나 끝으로 一般的인 물에 關한 防蝕處理法을 水中에 存在하는 不純物別로 要略하여 表 I에 記하고 맺고자 한다.

表 1. 水中에 存在하는 不純物 및 이로 因한 障害와 處理法

成 分	障 害	處 理 方 法
濁 度 (分析에 의해 SiO_2로 表示)	물이 濁하게됨. 各配管系統, 裝置, Boiler에 沈積 및 障害	凝集沈澱, 濾過超音波處理
色 度 (標準色의 單位로 表示)	Boiler의 泡立을일으킴, 鐵分除去, 燐酸軟化法으로 沈澱이 生成되어 물 處理法에 障害가됨. 製品의 品質을 低下	凝集沈澱, 濾過鹽素處理, 活性炭에 의한 吸着
硬 度 (Ca, Mg鹽; $CaCO_3$로 表示)	Boiler, 熱交換器, 蒸溜器及配管에 Scale을 生成시켜서, 熱傳導度가 나빠지고, 部分的過熱을 일으키며 裝置를 損傷 및 品質低下	Ion交換法에 의한 軟化, 藥品添加에 의한 沈澱除去 Ion 封鎖劑의 添加, 蒸溜, 界面活性劑의 添加
알 카 리 度 (HCO_3^- CO_3^{-} OH^-, $CaCO_3$로 表示)	Boiler의 泡立과 Carely over의 原因, 苛性脆化, 蒸氣水에 CO_2을 生成, 腐蝕의 原因이됨, 물의 pH를 높여서 酸을 中和시키고, 染色이나 그外 製造工程에 있어서 pH, Colloid를 阻害시킴.	Ion交換樹脂法에 의한 脫알카리, 脫鹽, H-zeolite軟化, 蒸溜
遊 離 鑛 酸 (H_2SO_4, HCl等, $CaCO_3$로 나타냄)	金屬材料의 腐蝕, pH 調節의 妨害	알카리에 의한 中和
遊 離 炭 酸 (CO_2)	配管系統, 蒸氣及復水管系統의 腐蝕	氣曝, 脫氣, 알카리中和 Amine 類添加
pH	pH는 水中에서 酸性 또는 알카리性으로 變化, 大部分天然水의 pH는 6~8임	pH는 알카리에 의해서 增加 pH는 酸에 의해서 減少
硫 酸 鹽 (SO_4^{-2})	Ca^{-2}와 結合하여 $CaSO_4$의 Scale生成 물에 固形分增加시킴	Ion交換樹脂에 의한 脫鹽, 蓄溜
鹽 化 物 (Cl^-)	물의 腐蝕性을 增大시킴. 물의 固形分을 增加	Ion交換樹脂및 Ion交換膜으로 脫鹽, 蒸溜
硝 酸 鹽 (NO_3^-)	물의 固形分含有量을 增加시킴. 보통無害. Boiler의 苛性脆化防止에 有効	Ion交換樹脂에 의한 脫鹽, 蒸溜
弗 化 物 (F^-)	斑狀齒의 原因이됨. 少量이면 虫齒防止의 役割을 함.	陰 Ion交換樹脂에 의한 除去, 水酸化마그네슘, 인산칼슘, 골탄으로 吸着凝集沈澱
珪 酸 (SiO_2)	Boiler及 冷却水系統에 Scale生成 珪酸의 蒸發에 起因되는 不溶性 turbin 翼沈積物의 生成	Ion交換樹脂法, 電解法, 脫珪酸法, 마그네슘鹽에 의한 加熱脫珪酸法
Sodium (Na^+)	Boiler水濃度를 增加시킴. Carely Over의 原因이됨	Ion交換樹脂 및 隔膜法으로 純水製造 및 脫鹽蒸溜

카 리 움 (K^+)	鐵化合物의 沈澱生成에 의한 汚染, 染色, 製紙, 化學纖維	氣曝, 凝集沈澱濾, 濾過, 石灰軟化法
鐵 (Fe^{+2} Fe^{+3})	製品, Brown管製造의 變色, 着色(黃色, 褐色) 및 斑點의 原因이됨, 配管系統, Boiler의 沈積物生成, 効率低下	陽 Ion 交換樹脂, 接觸濾過法, Ion 封鎖劑添加
有機鐵 及 Colloid 狀鐵	Fe^{+2}, Fe^{+3}의 경우와 同一	凝集沈澱, 電解法
Mn^{+2}	鐵과 同一	鐵과 同一
銅 (Cu^{+2})	多量일때 人體에 有害. 酸化劑(遊離鹽素)의 共存으로 말미암아 觸媒作用으로 酸化를 促進시킴. 金屬部分腐蝕의 原因	陽 Ion 交換樹脂. Ion 封鎖劑의 添加
油 脂 分 (ethal 油出分)	Boiler의 Scale, 罐液, 泡立의 原因이됨. 熱交換効率低下大部分의 製造工程에 有害.	邪魔板付油分離器, 活性炭素 및 珪藻土에 의한 濾過, 凝集沈澱
Colloid Gel 酸及 懸狀珪酸	Boiler 內에 可溶性의 分子狀珪酸鹽이 되어, 珪酸의 경우와 같은 障害를 일으킴	凝集沈澱, 電解에 의한 脫珪酸法, 蒸溜
溶 存 酸 素(O_2)	配管系統, 熱交換裝置, Boiler 復水系統의 腐蝕	脫氣, 亞硫酸소—다等 添加. 防腐蝕劑添加
硫 化 水 素 (H_2S)	腐란臭를 일으킴. 腐蝕의 原因이됨.	氣曝, 鹽素處理, 强鹽基, 陰 Ion 交換樹脂.
암 모 니 아(NH_3)	可溶性錯鹽의 生成에 의해, 銅및 亞鉛合金의 腐蝕	*H*-zeolite 에 의한 陽 Ion 交換樹脂, 鹽素處理, 脫氣
微生物(細菌類, 藻類)	飮用에 有害, 配管系統의 閉鎖, 製品의 汚染 및 腐蝕	硫酸, 銅鹽, 其他殺菌劑添加, 凝集沈澱, 濾過, 加熱, 蒸溜
電 氣 傳 導 度($\mu\nu$/cm)	電導度는 溶液中의 固體가 Ion 化한 結果로 생김 電導度가 높으면 물의 腐蝕性이 높아짐	溶解固形物을 減少하는 方法 例, 脫鹽, 蒸溜
溶 解 固 形 物	蒸發하여서 求한 溶解物質의 總量으로, 溶解固形物이 增加하면 製造工程에 障害를 일으키고 Boiler의 泡立의 原因이됨.	Ion 交換交換樹脂로 脫鹽 및 순수제조 Ion 交換樹換樹脂膜으로 脫鹽및 純水製造 蒸溜
懸 濁 固 形 物	重量法에 의해 求한 不溶解物質의 總量임 固形物은 管을 막게함 熱交換裝置, Boiler 等에 沈積物을 생기게함	凝集沈澱, 濾過
全 固 形 物	重量法에 의해 求한 溶解固形物과 懸濁固形物의 合計量	溶解固形物과 懸濁固形物과 같음

參考文獻

H. H. Uhlig; Corrosion Handbook (1948), J. Wiley & Sons, Inc. New York.

U. R. Evans; Metallic Corrosion, Passivity and Protection, 2nd-Ed. (1946)

F. N. Speller; Corrosion, Cause and Prevention, 3rd-Ed (1951,) McGraw-Hill, N. Y

E. Rabald; Corrosion Guide 1951, Elsevier Publ Co., N. Y.

豊田環吉; 工業用水とその水質管理.

日本工業水協會編; 工業用水便覽.

學振腐蝕防止委員會編; 金屬防蝕技術總覽, 上下卷.