

酸性原수가 水道水の 腐蝕性に 미치는 影響과 對策方案

金 水 源 *

1. 序 論

腐蝕性 물은 金屬을 상당한 수준으로 溶解시키는 性質을 갖고 있는 '것으로 定義된다. 腐蝕이란 用語는 上水道 配水系統에 적용되는 말로서 管을 둘러싸고 있는 濕潤上에 있는 配管腐蝕도 포함하게 된다.

물은 溶解力이 강한 溶媒이며, 물에 溶解되지 않는 物質은 없다고 할 程度이다. 물에 의한 金屬의 溶解는 金屬에서는 腐蝕이란 現象이 나타난다. 鐵管 등의 金屬製品으로 施設의 主要部를 構成하고 있는 水道에서 물의 腐蝕性은 많은 問題를 야기한다.

특히 鐵管의 綠에 의한 腐蝕은 鐵管의 通水能力을 격감시키므로 配水系統과 給水施設에 막대한 經濟的 損失을 초래함과 同時에 溶出된 鐵은 水酸化 第2鐵(綠)로 되어 供給水 中에 含有되어 이른바 赤水問題를 일으키게 되는 것이다.

歐美의 水道에서는 우리나라의 水質보다 硬度가 높아서 腐蝕性이 적음에도 불구하고 鐵管腐蝕에 대한 關心이 깊으며 國際水道協會에서도 腐蝕防止常設委員會를 두고 있다. 따라서 本 研究에서는 金屬의 綠發生 機構의 特性을 把握하고 上水道 水質의 腐蝕性과 이들 現象이 上水道 施設에 미치는 影響을 檢討함으로써 將來에 適切한 腐蝕防止對策 方案을 提示코자 한다.

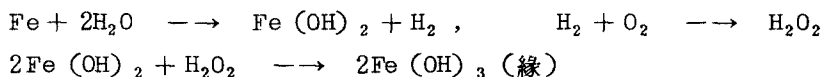
2. 金屬의 綠發生 機構

2.1. Acid theory

水中의 炭酸(H_2CO_3)에 의하여 鐵은 炭酸 第1鐵로 되고 다음에 水中의 酸素에 酸化되어 水酸化 第2鐵로 된다는 說이다.

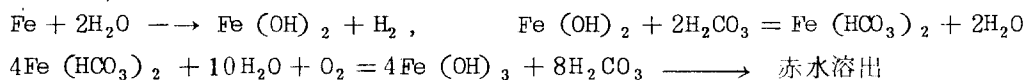
2.2. Peroxide theory

鐵은 먼저 물과 結合하여 水酸化 第1鐵이 되고 이때에 發生한 水素와 水中의 酸素가 結合하여 H_2O_2 (Hydrogen peroxide)를 生成한다. 다음으로 水酸化 第1鐵과 過酸化水素가 化合하여 水酸化 第2鐵을 生成하게 된다는 說이다.

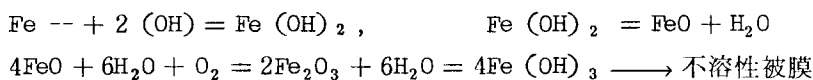


2.3. Electrochemical theory

이 說은 腐蝕反應이 電氣化學的 反應에 의해서 일어난다고 한다. 一般的으로 酸素가 含有된 물에서 pH가 낮고 2酸化 炭素를 포함하고 있을때 腐蝕現象은 다음과 같다.



이 反應은 水中에서 일어나고 管表面에서 生成되지 않기 때문에 水酸化 第2鐵은 水中에 浮遊粒子로서 沈積(녹물發生)하고 管表面에 保護被膜은 形成되지 않는다. 反面 水中에 2酸化 炭素의 含量이 적고 pH值가 높은 알카리性 물에서 反應이 일어날 때는 다음과 같다.



그러므로 물의 適正한 알카리도와 pH狀態에서는 溶存酸素의 含有 여하에 불구하고 管表面에 不溶性被膜을 形成하게 된다.

2.4. 金屬의 電位와 물의 pH에 따른 平衡反應

緣發生機構는 電氣化學說이 定說로 되어 있으나 Pourbaix는 金屬의 電位(E_H)와 물의 pH에 따른 平衡反應으로부터 平衡圖에 의하여 鐵의 緣이 進行하는 여부를 腐蝕態, 不活態, 不動態 등 3種의 狀態로 나타내고 있다.

3. 腐蝕性水의 判定

물이 腐蝕을 일으키는 水質인가를 判定하기 위하여 使用되고 있는 方法은 LI (Langelier Index), AI (Aggressiveness Index = 浸蝕性 指數, AWWA 制定), ME (Momentary Excess), RI (Ryznar Index), DFI (Driving Force Index) 및 CCPP (Carbonate Precipitation Potential) 등이 있으나 일반적으로 LI 指數를 이용하고 있다.

3.1. Langelier 指數 - LI (飽和指數)

LI는 實驗 pH와 理論上의 pH值인 pHs와의 差로 나타내는 飽和指數이다. 水溫이 20℃, pH가 7, Ca^{2+} 가 7.5 ppm 그리고 總固形物量이 50ppm일 때,
 $\text{LI} = \text{pH} - \text{pH}_s = 7.0 - 9.1 = -2.1 < 0 \rightarrow$ 腐蝕性水로 判斷됨.

3.2. Aggressiveness Index (浸蝕性 指數)

AI는 4~27℃의 範圍로 石綿시멘트管 規格에 定해져 있는 것이다. 즉,

$$\text{AI} = \text{pH} + \log_{10} [\text{Ca}^{2+}] [\text{ALK}] \text{의 式으로 나타낸다.}$$

여기서 $\text{AI} < 10$ 일때 強浸蝕性, $\text{AI} \geq 10$ 일때 中浸蝕性,

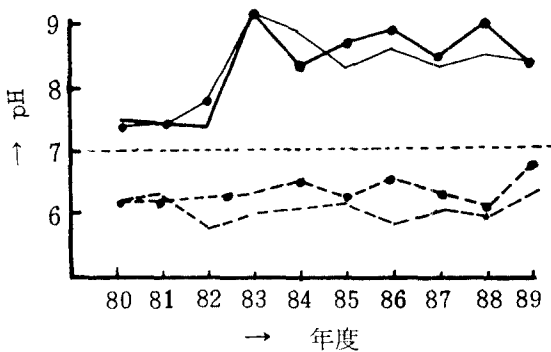
$\text{AI} \leq 10$ 일때 非浸蝕性을 나타낸다.

上記 水質에 대한 것을 檢討하여 보면

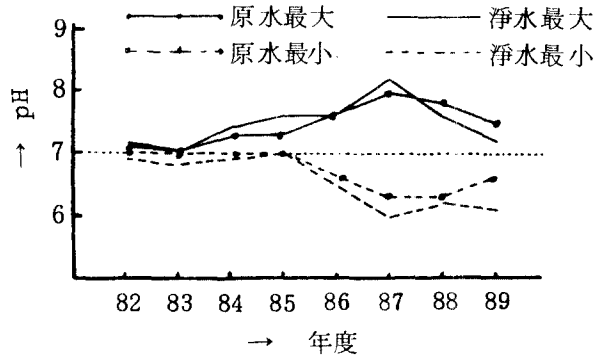
$$\text{AI} = 7.0 + 2.35 = 9.35 < 10 \rightarrow \text{이것은 強浸蝕性水임을 나타내고 있다.}$$

<表 - 1> 우리나라 上水道 水質現況 (1980 - 1989 平均値)

區分	都市數	原 水 pH					浮 水 pH				
		試驗回數	7 以下	7 以上	最大	最小	試驗回數	7 以下	7 以上	最大	最小
河水川	260	1,576 (100%)	167 (10.6)	1,409 (89.4)	9.2	6.0	3,025 (100%)	838 (27.7)	2,187 (72.3)	9.2	5.8
貯水池	31	3,333 (100%)	756 (22.7)	2,577 (77.3)	8.3	6.3	3,388 (100%)	1,138 (33.6)	2,250 (66.4)	8.2	6.0
地下水	47	261 (100%)	229 (87.7)	32 (12.3)	7.6	5.6	178 (100%)	128 (71.9)	50 (28.1)	8.0	5.6



(a) 河川水



(b) 貯水池

<그림 1> 全國 上水道의 pH 現況圖

4. 腐蝕性水의 影響

4.1. 腐蝕의 表示

配管系統의 심한 腐蝕은 “赤水” 또는 물속의 녹물로 表現된다. 그러나 赤水의 問題가 없더라도 鐵管에 銹瘤(tubercles)가 形成될 수도 있다. 심한 腐蝕은 鐵管內를 흐르는 물의 溶存酸素含量의 減少 및 pH 값과 鐵分含量의 增加로 表示된다.

4.2. 腐蝕性水의 金屬에 미치는 影響

腐蝕은 물속에 상당한 量의 鐵分을 生成시키는 정도보다 낮더라도 鐵管內面을 거칠게 하거나 垢(銹瘤)을 發生시키므로 管內 流出現象을 현저하게 減少시킨다.

美國에서 pitometer로 測定한 바에 의하면 鑄鐵管을 30年間 使用한 結果 pH 값에 따라 크게는 85%까지 流水能力을 감소시킨 것이 發見되었다.

4.3. 모르타라이닝 鑄鐵管 및 石綿시멘트관에 미치는 影響

모르타라이닝을 한 鑄鐵管이나 銅管 및 石綿시멘트관은 腐蝕에 대해서 安全하다고 하는 神話的인 생각이 水道界에서 무너진 것이다.

供給水の pH 値가 酸性이면 모르타나 石綿시멘트管에서 알칼리분이 中和되어 원래의 모래와 같이 되어 산산이 떨어져서 市內의 一部 給水栓에서 모래가 나오게 되는 사태가 發生하게 된다. 이것은 콘크리트를 배운 사람의 常識인 것이다.

그래서 모르타의 알칼리분이 完全히 없어지면 鐵部에 鐵鏽을 일으켜 팽창하므로 라이닝을 剝離시키므로 이와 같이 된 鐵管은 아스팔트被覆을 實施한 鐵管보다도 腐蝕이 더 빨리 進行된다.

石綿시멘트管에 대해서도 같은 것으로 pH가 낮은 물을 供給하고 있는 水道에서 石綿시멘트管의 알칼리분이 損失되어 손톱자국이 들어갈 정도로 軟質化되어 버린 경우가 많다.

4.4. 給水装置와 其他施設에 미치는 影響

鐵에 대한 腐蝕防止를 위하여 알칼리處理한 물은 亞鉛, 亞鉛塗鐵 및 黃色黃銅에는 腐蝕性일 수도 있다. 이는 亞鉛은 pH값이 7.5보다 낮고 8.5보다 높을 때 심하게 腐蝕되기 때문이다. 一部 黃色黃銅(2倍黃銅)은 腐蝕性水에 의해서 脫亞鉛化를 일으킨다. 銅이 1~3 ppm 以上の 濃度에서는 金屬味와 緣을 發生할 것이다. 그러므로 1 ppm값을 適正한 것으로 하고 있다. 亞鉛含量은 5 ppm보다 더 낮아야 한다.

鉛은 낮은 pH값의 물에 의하여 腐蝕되며 鉛의 含量이 0.05 ppm을 초과하면 有毒성을 띤다. 鉛管은 pH값이 7.8과 9.6 사이에 있도록 보장된 물에만 使用되어야 한다. 유럽 上水道 水質基準에는 鉛管과 16時間 接觸後 需要家 給水栓에서 鉛의 含量이 0.1 mg / ℓ을 초과하지 아니해야 한다고 規定하고 있다.

4.5. 우리나라의 配·給水管 現況과 問題點

우리나라는 1987年末 現在 總送·配·給水管의 延長이 83,940 km로서 이 중에 68%를 차지하는 51,215 km가 給水管으로 機成되어 있다.

더욱이 全體의 길이로 보면 約 60%가 亞鉛塗鋼管 그리고 25% 以上이 鑄鐵管(닥타일管 包含)으로 全體의 85% 以上을 차지하므로 現在의 上水道 水質로 보면 配·給水管의 腐蝕에 대한 安全性과 水質管理에 많은 問題點이 發生하고 있는 實情이다.

5. 물의 腐蝕性 防止法

上水道施設(특히 配·給水施設)은 大部分이 金屬材料로 된 施設이므로 腐蝕性的 물은 끊임없이 이들 施設物을 浸蝕하고, 특히 配·給水管路의 通水斷面을 減少시키고 녹물(赤水)의 發生問題를 야기시킨다.

一般的인 腐蝕性的 防止를 위해서 利用되는 方法은 ① 溶存酸素의 除去, ② 遊離炭酸의 除去, ③ 保護被膜의 形成, ④ 浸蝕성을 유발하는 生物化學的 作用을 防止하기 위한 鹽素處理, ⑤ 페인트, 에나멜, 모르타라이닝, 에폭시塗裝 等の 方法이다.

5.1. 溶存酸素除去

물을 部分眞空 狀態에서 酸素, 2酸化炭素 및 가스 등을 除去할 수 있다. 이 工程은 원래 單一建物이나 蒸氣보일러에 供給하는 溫水處理에 限定되어 왔으나 近來에는 大單位 工業用水 系統에서 溶存酸素를 除去하기 위하여 脫氣工程으로 이용되고 있다.

5.2. 遊離炭酸의 除去

물의 腐蝕性에 대한 2酸化炭素의 역할에 대해서 온당치 못한 比重을 두고 있다. 2酸化炭素의 除去가 浸蝕防止의 重要한 側面이 아니다. 그러나 管表面에 沈積된 被膜은 2酸化炭素가 除去되어야 한다. 그렇지 않으면 CO₂는 被膜의 沈積을 妨害하거나 이미 沈積된 被膜을 溶解시켜 管表面이 계속 腐蝕되도록 露出시키게 된다.

大氣中の 2酸化炭素의 平衡은 0.5 ppm이므로 물속의 2酸化炭素가 大氣와 接觸하게 되므로 理論的으로는 曝氣作用은 2酸化炭素를 이 數值까지 低下시킬 것이다.

그러나 効率的인 曝氣作用은 2酸化炭素의 濃도가 3.0~5.0 ppm보다 낮아지지 않는다. 이 濃度の 2酸化炭素는 浸蝕性이며 이것은 炭酸칼슘을 알칼리度 80ppm 미만까지 溶解시키게 된다. 그러므로 알칼리度가 이보다 낮으면 曝氣만으로는 金屬配管의 腐蝕을 防止할 수 없게 된다.

5.3. 保護被膜의 形成

保護被膜은 물을 特殊處理함으로 沈積된 薄膜과 管製作工程에서의 被覆으로 大別된다. 水道配水管을 위한 防蝕手段은 pH調節과 鐵管의 塗裝 等に 의한 被覆에 限定되고 있다. 被覆으로 防止할 수 있는 범위에는 한계가 있어서 切管部, 給水管, 給水用 屋上탱크 등 被覆으로 完전을 기할 수 없는 것이 많다. 그러므로 塗裝 等に 의한 被覆과 병행해서 pH調節로서 水質改善에 의한 水道系 전체의 防蝕이 최선을 이루게 되므로 각국의 水道界도 이 방식을 택하고 있다.

〈表 - 2〉 유럽의 pH調節現況

區 分	原 水		浮 水		
	232 個	水源 平均	London	Zürich	Amsterdam
pH 值	7.6		7.8~8.1	7.6~8.1	7.3~8.7

5.3.1 pH調整의 目標值

pH調整을 할 때 그 目標值를 어느 정도까지 조정하는가는 세심한 검토를 要하는 어려운 문제다.

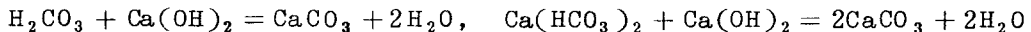
英國 基準(Manual)에는 pH 7.6 ~ 7.8이 일반적으로 最適이고 正確한 값은 實驗에 의하여 결정하여야 된다고 規定하고 있다. pH가 8.0 이상이 되면 不活態나 不動態의 領域에 들어가므로 緣進行이 극히 적게 되므로 pH Control도 pH 8까지 하는 것이 理想的일 것이다. 그러나 pH가 8까지 되면 물맛이 나빠질 수 있으므로 pH 7.5 정도가 實際의일 것이다.

pH를 7.5 정도로 調整하면 緣發生이 완전히 防止되지는 않으나 대폭 감소되는 것은 틀림이 없으며 赤水問題는 거의 解消될 것이다. 또한 銅管을 사용할 때 衛生陶器의 青色着色問題나 亞鉛塗鋼管에서 白濁된 물이 나오는 등 給水上的 難題가 언제나 pH가 낮아서 물이 酸性인 때문에 생기는 것으로 이런 問題는 pH調整에 의해서 解消될 수 있는 것이다.

1980年에서 1989年까지 10年 平均值를 보면 河川 原水에서 pH 7以下가 전체 試驗水의 10.6%인데 반해서 淨水處理後의 것은 27.7%나 되는 우리나라 水道에서 그 필요성이 더욱 절실한 것이다.

5.3.2 pH調整方法

pH調整을 實際로 行할 때는 알칼리도와 pH 값이 炭酸칼슘의 平衡點에서 얻는 값과 같거나 이를 초과할 때 炭酸칼슘被膜이 形成된다. 이 反應은 다음과 같게 된다.



石炭注入을 너무 많이 하면 불필요한 scale이 형성되고 너무 적게 하면 上記 反應이 완전히 되지 아니하고 保護被膜에 필요한 炭酸칼슘이 沈積되지 않는다.

pH調整에 사용되는 알칼리劑는 消石灰, 가성소다, 소다灰 등이 있으나 防蝕效果(金屬表面에 CaCO_3 被膜形成), 經濟性(消石灰는 注入量이 소다灰나 液體가성소다의 半以下이고 經費面에서는 1/3 ~ 1/4 정도)面에서 石灰法이 우수하다는 것은 이미 예로부터 지적되어 왔다. 世界 各國의 pH調節도 石灰法이 壓倒的으로 많이 쓰이는 것은 물론이다.

소다系藥品の 사용이 좋지 않은 또 하나의 이유가 있다. 최근 Na^+ 이온의 濃度가 높으면 건강에 지장을 초래하며 특히 高血壓를 유발시킨다는 의견이 醫學界에 강하게 일고 있다. 美國環境廳의 飲料水水質審議會는 Na^+ 는 물 1ℓ中에 $270\mu\text{g}$ (0.27 ppm) 以下로 해야 된다고 規定하고 있다. 食鹽의 多量攝取는 高血壓의 원인이 된다는 것은 이미 널리 알려진 사실이나 이것도 Na^+ 成分 때문이라고 한다.

반면에 消石灰에 의하여 飲料水中에 Ca 이온이 많아지면 腦溢血이 적어진다는 統計事實이 美, 英, 日本 등에서 확인되고 있다. 이와 같은 觀點으로 보더라도 pH 調整은 石灰法을 채용해야 한다.

5.3.3 實驗室運營

腐蝕防止를 위한 水質處理는 pH, 알칼리度 및 이에 關係되는 遊離炭酸 등의 試驗에 의하여 調整되어야 한다(例, pH 7.5, CO_2 5 ppm 및 알칼리度 80 ppm). 이것은 전부 marble test 와 Enslow 安定指數에 關係되는 것이다. 後者가 marble test 보다 간편하고 항상 試料水의 炭酸飽和平衡을 提供하므로 필요에 따라서 PH 와 알칼리度の 安定值를 測定할 수 있다.

6. 結 論

本 研究에서 얻은 結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) 우리나라의 上水道는 歐美에 비하여 pH가 낮으므로 대단히 강한 腐蝕性을 띄고 있으나 이에 대한 認識이 부족하여 上水道 施設의 配·給水施設의 腐蝕現象으로 通水能力 減退, 赤水의 出水現象과 供給水의 水質管理에 많은 문제를 일으키고 있는 실정이다.

(2) 供給水의 pH가 最低 5.8까지 떨어져 强腐蝕性 水質을 띄고 있으며 總埋設管路中 亞鉛塗鋼管이 60%인 50,364 km나 되고 鑄鐵管과 닥타일管을 합하면 물에 金屬表面이 露出된 管이 85%(一部 鑄鐵管은 모르타라이닝을 했으나 그 延長은 극소수이며 統計가 明確치 않음)이다.

(3) 金屬의 表面이 물에 露出된 上水道의 各種 施設이 현재 供給되고 있는 腐蝕性 水質에 의하여 끊임없이 浸蝕되고 있어 많은 經濟的 損失을 초래하고 있다.

(4) 供給水의 水質이 赤水問題를 야기시키므로 每年 赤水放流作業이 계속되고 있다.

(5) 酸性降雨와 原水의 汚染으로 pH值의 低下 내지 異常現象이 계속되고 있으나 腐蝕防止를 위한 획기적인 淨水處理의 改善이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

(6) 原水의 腐蝕性 防止對策과 配·給水施設의 改良 및 供給水의 水質管理 改善을 위한 綜合的인 計劃을 樹立하여 對處해 나가야 할 것이다.

参 考 文 献

1. 建設部, 上水道, 1986.
2. 金水源, 上水道工學, 普文出版社, 1986.
3. Cox, C.R., Operation and Control of Water Treatment Processes, WHO, Geneva, 1964.
4. Pisigan Jr, R.A. and J.A. Singley, Influence of Buffer Capacity, Chlorine Residual, and Flow Rate on Corrosion of Mild Steel and Copper, Jr. AWWA, Vol.79, No.2, pp.62-70, 1987.
5. Bean, J.E., The anti-corrosion handbook and directory, Sawell publications Ltd., London, 1988.
6. Reiber, S.H., J.F. Ferguson and M.M. Benjamin, Corrosion Monitoring and Control in the Pacific Northwest, Jr. AWWA Vol.79, No.2, pp.71-82, 1987.
7. IAWPRC, Water Quality International, No.4, pp.4-5, 1987.
8. 日本水道協會, 上水道施設基準解説, 1977.
9. British Water Practice Manuals No.3, Water Supply and Sanitation in Developing Countries, Edited by Dangerfield B.J. and Compiled and Published by the Institution of Water Engineers and Scientists, London, 1983.
10. Kölle, W., Corrosion in Drinking Water Systems, pp.8-11, 12th Congress of International Water Supply Association, Kyoto, 1978.
11. Strizhevsky, I.V. and B.L. Reizin, Determination of Domestic Water Corrosive Activity, pp.8-10, 13th Congress of International Water Supply Association, Paris, 1980.
12. Flzenga, C.H.J. and A. Graveland, Proposal of the European Communities for a directive relating to the equality of water for human Consumption, actual metal levels in drinking water and some possibilities for reduction by central conditioning by water works, pp.11-15, 前掲書.
13. Wasserversorgung Zürich, Abteilung der Industriellen Betriebe, Geschäftsund Untersuchungsbericht, 1986.
14. Stone, A., D. Spyridakis, M. Benjamin, J. Ferguson, S. Reiber and S. Osterhus, The Effects of Short-Term Changes in Water Quality on Copper and Zinc Corrosion Rates, Jr. AWWA Vol.79, No.2, pp.75-82, 1987.