

## 水道管의 腐蝕舉動에 관한 研究

金元萬 · 朴英淑

한양대학교 공과대학

### Corrosion Behaviour of Water Pipes

Won-Man Kim · Young-Suk Park

*College of Engineering, Hanyang University*

#### ABSTRACT

Corrosion of pipes is one of the most serious problems in the maintenance of water works. Corrosion is promoted not only by physical factors such as temperature, but also by electro-chemical factors including concentration of soluble metal ions, chlorine ion, pH, DO and microorganisms. Corrosion products also affect corrosion rate.

In this research, study results are summarized as follows ;

- 1) Corrosion test was performed for 4 weeks at 70°C, pH 7.0 with specimens of 4 types of metal materials used as service pipes.

Corrosion rate and S.E.M were analyzed.

The results were showed that corrosion rate of carbon steel pipe was 4.10~5.22 mg/cm<sup>2</sup> · week, galvanized steel pipe 0.98~1.34mg/cm<sup>2</sup> · week, Copper pipe 0.02~0.04mg/cm<sup>2</sup> · week, stainless steel pipe 0.05~0.10mg/cm<sup>2</sup> · week.

- 2) When corrosion rate was tested for the types of pipes at pH 7 and both 25 °C and 75 °C, average corrosion rate for 6 weeks at 25 °C was 2.26 mg/cm<sup>2</sup> · week in carbon steel pipe, 1.99mg/cm<sup>2</sup> · week in galvanized steel pipe, 0.26 mg/cm<sup>2</sup> · week in stainless steel pipe.

At 70 °C, average corrosion rate for 4 weeks was 4.56 mg/cm<sup>2</sup> · week in carbon steel pipe,

0.07 mg/cm<sup>2</sup> · week in stainless steel pipe.

This results informed that corrosion rate in carbon steel pipe and stainless steel pipe was increased by the increase of temperature, and that decreased in galvanized steel pipe and copper pipe.

- 3) In the region of pH 6.0 to 8.0 corrosion rate indicated relatively higher value in acid region than in alkaline region for all four metal pipe specimens.

By analyzing corrosion products formed inside of the ductile cast iron pipe which used as water distribution pipe, it was found that ferric oxide it was about 82~95% and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or SiO<sub>2</sub> was about 1~8%.

## I. 序 論

腐蝕이라 함은 金屬의 表面에 接하는 物質이 化學的으로 反應함으로써 金屬이 여러 가지로 變貌되어 가는 現像<sup>1)</sup>으로, 自然界에서는 鑛石의 대부분이 酸化物 狀態로 存在하고 있으며 이들 대부분의 金屬材料를 人工的으로 還元 加工하여 여러 種類의 目的에 使用하고 있다.

腐蝕은 給·配水管의 補修費用 增加와 通水能力 減少 및 漏水 等の 經濟的인 損失 뿐만 아니라 給水栓水의 水質에 나쁜 影響을 미치며, 腐蝕으로 因하여 水中으로 溶解되는 金屬 즉, 綠물을 攝取하게 되므로 人體에 毒性을 끼칠 수 있다. 管의 腐蝕으로 因해 水中에 포함될 수 있는 重金屬은 鐵, 鉛, 銅, 亞鉛 等<sup>2)</sup>이 있다.

管의 腐蝕은 金屬 表面에서의 電氣化學的인 作用에 의해 主로 發生되며 水道水의 特性에 따라 金屬의 腐蝕을 促進시키는 程度가 相異하다. 腐蝕의 發生原因은 溫度와 같은 物理的 要因과 溶存性 金屬鹽의 濃度, 鹽素

이온 濃度, pH, 溶存酸素 等<sup>3)</sup>을 包含한 電氣化學的 要因 그리고 沈澱物, 微生物, 腐蝕殘留物과 같은 其他 要因에 의해서도 進行된다.

現在 우리나라에서는 上水道 施設의 腐蝕防止 指針<sup>4)</sup>이 마련되어 있지 않으며, 다만 一部 淨水場에서 管의 腐蝕防止를 위한 알칼리劑 注入을 實施하고 있으나 藥品의 適正 注入量과 管腐蝕防止 效率에 대해서는 正確하게 밝혀지지 않고 있다.

溶存酸素, pH, 重碳酸이온 等の 水質要素가 水道管의 腐蝕에 미치는 影響은 外國의 여러 學者들<sup>5,6,7)</sup>에 의해 研究되었다. 그러나 이 研究 結果들은 각기 實驗條件이 相異하기 때문에 서로 다른 結果로 나타나는 것이 많은데 이는 아직 腐蝕의 科學的인 原因糾明 및 防止對策이 완전히 樹立되어 있지 않은데 起因한다. 國內에서도 水道管의 腐蝕에 대한 研究活動이 거의 이루어 지지 않고 있으며 水道管 腐蝕에 대한 現況은 李 等<sup>8)</sup>에 의해 어느 정도만 把握되어 있는 實情이다.

따라서 本 研究은 이미 隨行된 文獻의 腐

蝕實驗 條件의 相異點을 分析, 整理하여 腐蝕의 定義와 範圍를 設定한 뒤, 水道管에서 進行되고 있는 管腐蝕의 原因을 糾明하기 위하여 水道管의 腐蝕實驗을 1990年 初期부터 實施하고 있는 바 이들의 腐蝕實驗을 通한 管種別 및 水質影響因子別 腐蝕速度와 腐蝕生成物의 成分 및 表面調査 結果 等을 分析하였다.

## II. 腐蝕理論

### 2.1. 腐蝕의 正義 및 種類

水中에 있는 金屬의 腐蝕은 基本的으로는 電氣化學的 作用에 의하여 일어나는 現象으로, 金屬이 처해 있는 環境이나 腐蝕에 關與하는 諸般要因(化學的 또는 電氣化學的 要因)에 의해서 浸蝕되는 것이라고 正義할 수 있다.

일반적으로 水溶液中의 金屬表面에는 轉位差가 다른 부분이 混在되어 있어 Fig. 1 과

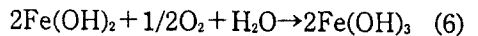
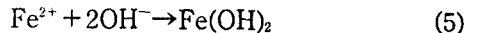
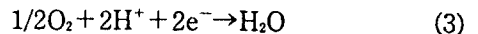
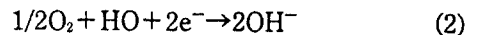
같이 局部電池가 무수히 活動하고 있다.<sup>9), 10)</sup> 局部電池의 陽極部에서는 腐蝕電流가 流出되고 金屬은 이온상태로 溶出되고 있다. 예를 들면 鐵鋼의 경우에 陽極部와 陰極部에서 각각 다음 式에서 나타낸 바와 같이 酸化 또는 還元反應이 進行되고 있다.

電流가 金屬에서 溶液中으로 流出하는 表面을 陽極(anode), 반대로 液中에서 電流가 金屬으로 流入하는 表面을 陰極(cathode)이라고 한다. 그리고 陽極部는 高電位(貴)이고, 陰極部는 低電位(卑)이다.

陽極部 :



陰極部 :



腐蝕은 Fig. 2 와 같이 여러 가지 형태 및

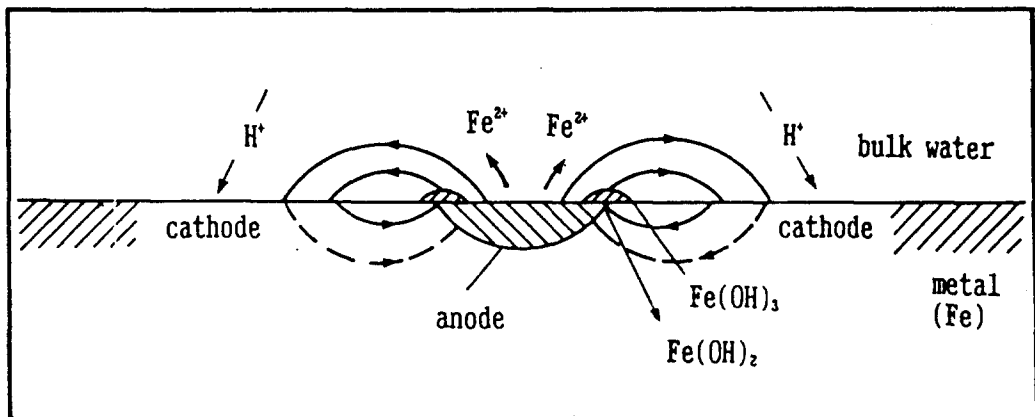


Fig. 1 Localized corrosion of iron surface

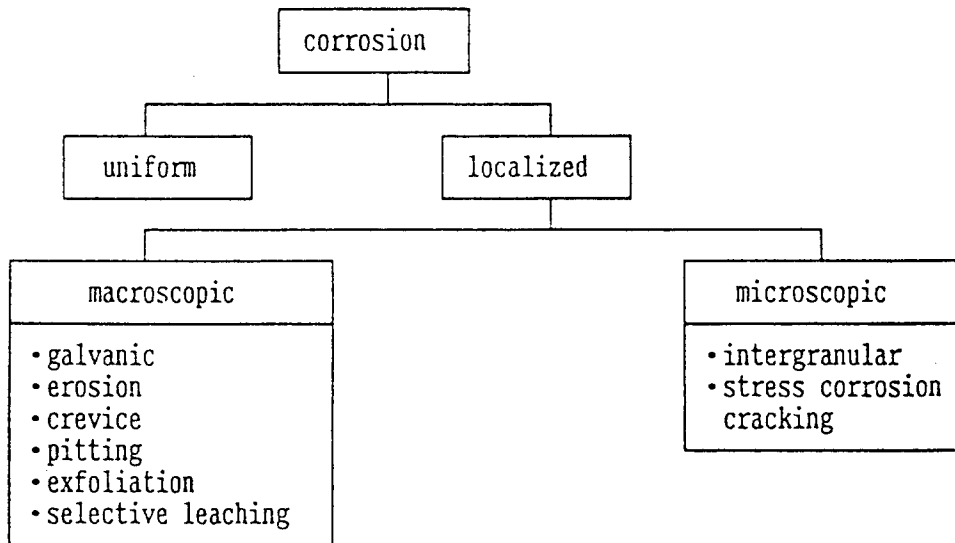


Fig. 2 The different forms of corrosion

종류로 발생한다.

## 2.2. 腐蝕의 影響因子

### 2.2.2. 水質에 依한 影響因子

腐蝕은 대체로 여러 因子들 間의 복잡한 相互作用에 의해 발생하거나 증가하는데 物理的 因子는 流速, 溫度 等이고 化學的 因子는 pH, 알칼리도, 잔류염소, DO 等이다. 또한 生物學的 因子는 鐵 酸化박테리아, 黃酸鹽 還元박테리아 等에 의한 作用에 의해 일어난다.

腐蝕因子 追求를 위한 水質分析은 항상 同一한 項目으로 행하는데 金屬 腐蝕因子에 대한 주된 水質分析 項目<sup>1)</sup>을 列舉하면 다음과 같다.

- 1) pH : 7 以下는 좋지 않다.
- 2) M-알칼리도 : 20~50 ppm 이 적당하

다.

- 3) 酸度 : 10 ppm 以上은 좋지 않다.
  - 4) 鹽素이온 : 30 ppm 以上은 좋지 않다.
  - 5) 黃酸이온 : 30 ppm 以上은 좋지 않다.
  - 6) 總硬度 : 70 ppm 前後가 적당하다.
  - 7) 칼슘硬度 : 30 ppm 前後가 적당하다.
  - 8) 電氣傳導度 : 110  $\mu$ mho/cm 以上은 좋지 않다.
  - 9) 蒸發殘留物 : 많은 것은 좋지 않다.
  - 10) 殘留鹽素 : 1.0 ppm 以上은 좋지 않다.
  - 11) 溶存酸素 : 많은 것은 좋지 않다.
  - 12) 水溫 : 높은 것은 좋지 않다.
- 2.2.2. 土壤에 依한 影響因子
- 土壤은 대기, 물, 그밖의 환경에 비해서 복잡한 腐蝕性 環境을 지니고 있기 때문에 地中에서의 金屬의 腐蝕速度는 급속하며 매우 광범위하다. 土壤의 腐蝕性에 影響을 미

치는 여러 가지 인자는 土壤組成, 含水量, 通氣性, pH, 溶解成分, 細菌의 活動度, 電流, 抵抗率 等이며, 이들 인자는 물리적 및 화학적 성질 이외에 降雨, 氣溫, 日照 等의 氣象條件이나 金屬體의 埋設條件에 따라서도 달라진다.

### III. 水道管種의 腐蝕實驗

#### 3.1. 試片 및 試水の 調劑

本實驗에 使用된 試片은 KSD 3507 配管用 炭素鋼管(黑管), KSD 3537 水道用 亞鉛鍍鋼管(白管), KSD 3501 이음매 없는 銅 및 銅合金管中 C 1220 磷脫酸銅 및 KSD 3595 一般配管用 스테인레스 鋼管中 STS 304 를 選擇하였는데 보다 자세한 化學組成 및 機械의 特性은 Table 1 과 같다.

本實驗에 使用된 試水の 調劑는 서울地域에 供給되고 있는 水道물에 따라 急速實驗을 위한 水質의 組成을 만들기 위해 人工의 으로 만들었다. 試水の 組成은 Table 2 에서와 같이 典型的인 서울시 各 淨水場에서 나오는 水道물의 水質과 類似한 組成으로 調整하였다.

서울시의 水道물은 硬度가 平均 49.5 ppm 程度로 매우 낮은 軟水이며, pH 도 平均 6.93 으로 7 보다 약간 낮은 特徵을 가지고 있기 때문에 이런 水質條件을 腐蝕性 指數에 適用해 본다면 Langelier 指數<sup>13)</sup>인 경우에는 LI 값이 0 以下로 되어 腐蝕을 抑制시키는  $CaCO_3$ 가 形成되지 않아 腐蝕이 促進된다고 볼 수 있다.<sup>14)</sup>

本實驗에서는 아무리 水道물의 腐蝕성이

강하다고 하여도 自然狀態에서는 數年間 또는 數十年間에 걸쳐 腐蝕現像이 나타나 는 것이므로 實驗室에서는 그 만큼 오랜 試驗期間을 持續시킬 수가 없기 때문에 急速 腐蝕實驗을 할 수 있는 方案으로 腐蝕環境을 만들어 實驗을 遂行하였다. 즉 腐蝕을 急速化시키기 위하여 腐蝕現像을 促進시키는 여러 水質影響因子中에서 溶存鹽類인 鹽素 이온의 濃度を 높이기 위해 염화나트륨을 添加하여 260 ppm 以上으로 調節하였고<sup>15)~19)</sup> 또한 試水の 溫度를 70°C 로 常溫(25°C)보다 높여 줌으로써 腐蝕을 支配하는 金屬表面에서의 酸素擴散率과 反應速度를 크게하여 腐蝕速度를 促進시켜 보기도 하였다.<sup>20)~28)</sup>

#### 3.2. 實驗裝置 및 방법

##### 3.2.1. 實驗裝置

本實驗에 使用된 實驗裝置는 溫度를 一定하게 調節할 수 있는 水浴槽(water bath)를 사용하여 그 속에 腐蝕성이 없도록 하기 위하여 코니칼 비이커와 삼각 플라스크를 使用하였고 試水の 溫度가 一定하게 되면 適當한 크기의 試片을 넣고 實驗을 하였다.

##### 3.2.2. 實驗方法

實驗方法是 使用된 實驗裝置를 利用하여 試水를 一定한 pH(中性)와 溫度(70°C 및 27°C)로 調整한 後 適當한 크기의 試片을 管種別로 各各 設置된 4個의 비이커와 4個의 삼각 플라스크에 넣고 實驗期間을 1週間 單位로 하여 1, 2, 3, 4, 5 및 6週間 동안 實驗하였다. 또한 pH 變化에 따른 腐蝕速度를 調査하기 위하여 pH를 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 그리고 8.0 까지 變化시키면서 實驗을 遂行하

Table 1. Chemical composition and mechanical characteristics of test specimens

pipe types		carbon steel pipes for ordinary piping	galvanized steel pipes for water service	copper and copper alloy - seamless pipes and tubes -	light gauge stainless steel pipes for ordinary piping
items	standards	(KSD 3507)	(KSD 3537)	(KSD 5301 C 1220)	(KSD 3595 STS 304)
chemical composi- tion (%)	C	-	-	-	less than 0.08
	Si	-	-	-	less than 1.00
	Mn	-	-	-	less than 2.00
	P	less than 0.040	less than 0.040	0.015 ~ 0.040	less than 0.040
	S	less than 0.040	less than 0.040	-	less than 0.030
	Ni	-	-	-	8.00 ~ 10.50
	Cr	-	-	-	18.00 ~ 20.00
	Cu	-	-	over than 99.90	-
	Mo	-	-	-	-
diameter (mm)	O.D	21.7	21.7	22.22	22.22
	I.D	16.4	16.4	19.94	20.22
weight (kg/m) (except socket)		1.25	1.25	-	K type 0.529
thickness (mm)		2.65	2.65	1.14	K type 1.0
mecha- nical chara- cteris- tics	tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	over than 30	over than 30	over than 21 ~ 33	over than 53
	rate of extension (%)	over than 25 or 30	over than 25 or 30	over than 40	over than 25 or 35
remarks		others Fe	80 + 5 μ Zinc	20A L type	others Fe

였다.

#### (1) 腐蝕速度 測定

各 試片을 實驗裝置에 넣기 前에 試片 크기를 1 cm × 1 cm 로 切斷하여 부드러운 솔과 아세톤으로 管内部와 外部의 不純物을 완전히 除去하고 나서 蒸溜水로 洗滌한다.

그리고 乾燥器內에서 恒量이 될 때까지 乾燥시켜서 무게를 測定하고 1 週日 單位씩 實驗을 마친 試片은 역시 同一 操作으로 해

서 무게를 測定하여 무게 減量을 調査하면 다음 式에 의해 腐蝕速度를 測定할 수 있다.

$$\text{腐蝕速度} = \frac{\text{무게減量(mg)}}{\text{試片의 内部面積(cm}^2\text{)} \times \text{期間(week)}}$$

(2) 腐蝕生成物의 化學成分 및 表面分析<sup>29)</sup>  
腐蝕生成物의 化學組成과 表面形態를 分析하기 위해 pH 7.0, 溫度 25°C, 停滯된 試水에서 4 週間 동안 實驗된 試片의 一部를

Table 2. Composition of test solution and tap water in Seoul

items	site	Pal-dang	Amsa	Kuui	Dukdo	Bokwa- ngdong	Norya- ngjin	Young- dungpo	Seonyu	Kimpo	aver- age	test soln.
pH		6.90	6.98	6.97	6.88	6.90	6.88	7.0	6.84	7.04	6.93	7.08
hardness		46.18	49.14	54.15	48.22	51.66	50.7	49.68	42.92	51.24	49.5	50.0
Cl <sup>-</sup>		9.21	6.17	-	11.87	-	13.72	12.17	-	-	10.6	260.6
temp.(°C)		11.11	10.58	11.41	10.7	9.66	9.88	11.01	10.07	9.54	10.4	70
Ca <sup>2+</sup>		12.68	15.27	15.42	13.23	14.36	13.17	20.55	20.21	15.37	15.6	16.0
Mg <sup>2+</sup>		3.74	3.55	3.54	3.62	3.86	5.47	10.68	14.3	2.9	5.7	6.0
alkalinity		31.92	32.7	33.04	36.11	30.16	35.24	34.48	38.51	27.48	33.3	35.0
resid. chlo.		0.34	0.52	-	0.88	-	0.8	0.78	-	-	0.66	-
Fe <sup>2+</sup>		0.03	0	-	0.01	-	0.01	0.008	-	-	0.01	0.01
conductivity (μmho/cm)		139	-	126	96	119	180	121	-	105	127	130
KMnO <sub>4</sub> consu.		9.9	6.3	5.0	5.0	11.5	2.4	1.2	2.4	2.1	6.3	7.0
Na <sup>+</sup>		4.0	5.58	6.0	7.0	11.0	4.0	4.5	4.3	3.8	5.6	167.6
K <sup>+</sup>		1.2	1.23	1.0	1.4	2.0	0.8	1.6	0.4	1.4	1.2	1.5
Zn <sup>2+</sup>		0.5	0.7	0.7	0.4	2.2	0.2	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5
SiO <sub>2</sub>		5.7	5.5	5.6	5.3	7.0	4.1	5.0	5.2	5.6	5.5	5.5
Cu <sup>2+</sup>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
Ni <sup>2+</sup>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4
Cr <sup>3+</sup>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9

0.5 cm×0.5 cm 로 떼어낸 試片을 가지고 腐蝕生成物에 表面槽痕을 알기 위하여 S.E.M (scanning electron microscopy; model: JSM-35 CF, JEOL)을 利用하여 調査하였다. 그리고 水道管内에 形成되어 있는 스케일의 組成을 分析하기 위해서 E.D.S(energy dispersive X-ray spectrometer; model:

AN-10,000 link system) 分析機器를 利用하여 試料에 炭素를 coating 處理하여 分析을 하였다.

### 3.3. 實驗結果 및 考察

#### 3.3.1. 管種別 腐蝕速度

Fig. 3 은 溫度 70°C, pH 7.0 인 停滯된 試

수에서 4週間 동안 實驗한 結果이고, Fig. 3. 2는 溫度 25°C, pH 7.0 인 停滯된 試水에서 6週間 동안 實驗한 結果이다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 配管用 炭素鋼管(CSP)은 期間이 1, 2, 3, 4週가 지남에 따라 腐蝕速度는 5.22, 4.74, 4.16, 4.10 mg/cm<sup>2</sup> · week 로 繼續的으로 減少하고, 水道用 亞鉛鐵鋼管의 腐蝕速度는 1.28, 1.34, 0.98, 1.1 mg/cm<sup>2</sup> · week 로, 점차 增加 또는 減少되는 傾向을 보이는데, 이것은 形成된 腐蝕生成物의 特性 差異에 의한 現像으로 생각된다.

水道用 亞鉛鐵鋼管(GSP)의 腐蝕速度를 配管用 炭素鋼管의 腐蝕速度和 比較해 볼 때 1週間 實驗에서는 約 25%, 2週間は 28%, 3週間は 24% 그리고 4週間 實驗에서는 約 27%로 平均的으로 보면 約 26%에 불과해 配管用 炭素鋼管보다는 우수한 耐蝕性을 가진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 溫度 25°C, pH 7.0 또한 停滯水의 條件下에서 6週間 實驗한 結果인데 腐蝕速

度는 配管用 炭素鋼管의 경우 1.91~2.70 mg/cm<sup>2</sup> · week 範圍이고, 水道用 亞鉛鐵鋼管은 1.47~3.27 mg/cm<sup>2</sup> · week 範圍로써 配管用 炭素鋼管이나 水道用 亞鉛鐵鋼管의 腐蝕速度가 점차 減少 또는 增加하는 傾向을 보였다. 6週間 동안 實驗한 結果이나 溫度因子에 따른 腐蝕速度를 比較해 보기 위하여 管種別로 Fig. 3과 比較하여 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8에 나타내었는데 溫度差에 따른 腐蝕速度는 管種에 관계없이 溫度 70°C 보다 25°C 때가 상당히 낮은 數値를 나타내므로 溫度差異에 따른 腐蝕速度는 상당히 크다고 볼 수 있다.

특히 配管用 炭素鋼管은 實驗期間이 1週 동안에 腐蝕速度의 差異가 5.22 mg/cm<sup>2</sup> · week 에서 2.70 mg/cm<sup>2</sup> · week 로 減少한 반면 水道用 亞鉛鐵鋼管은 1.28 mg/cm<sup>2</sup> · week 에서 3.27 mg/cm<sup>2</sup> · week 로 增加되었고 實驗期間 4週 동안에도 配管用 炭素鋼管의 경우 4.10 mg/cm<sup>2</sup> · week 에서 1.94 mg/cm<sup>2</sup> · week 로 減少한 반면, 水道用 亞鉛鐵鋼管의 경우

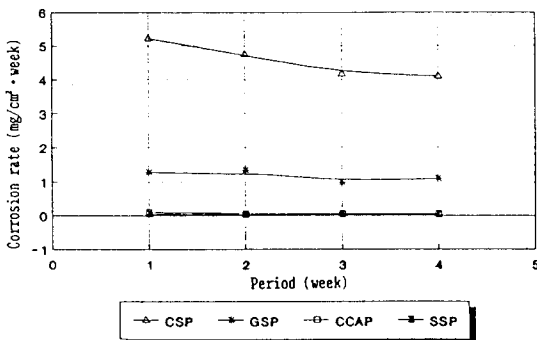


Fig. 3 Corrosion rate as a function of period for water pipes(test condition : temp. 70°C, pH 7.0, period 4 weeks)

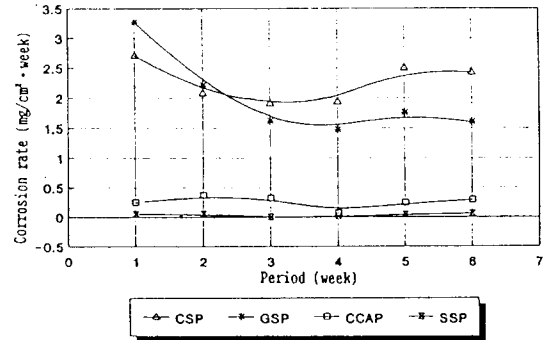


Fig. 4 Corrosion rate as a function of period for water pipes(test condition : temp. 25°C, pH 7.0, period 6 weeks)



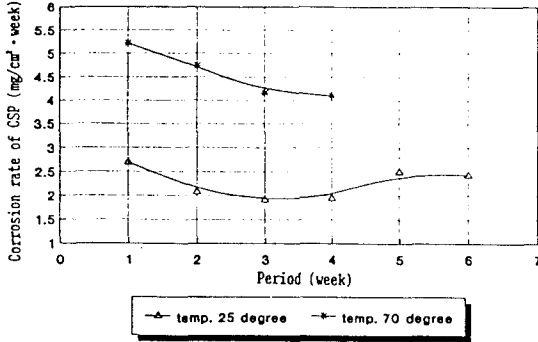


Fig. 5 Corrosion rate of CSP according to temperature(test condition : pH 7.0, period 4 and 6 weeks)

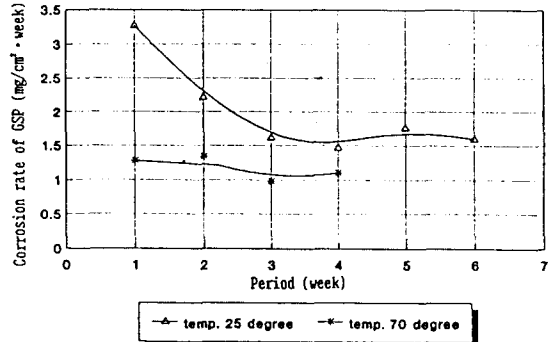


Fig. 6 Corrosion rate of GSP according to temperature(test condition : pH 7.0, period 4 and 6 weeks)

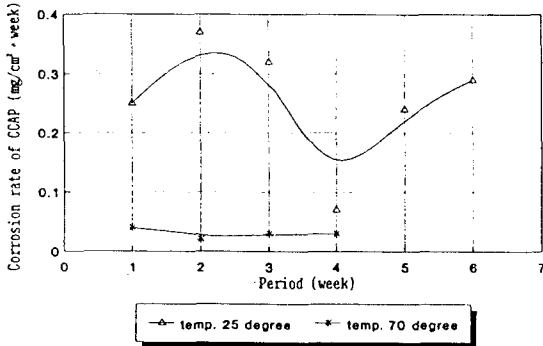


Fig. 7 Corrosion rate of CCAP according to temperature(test condition : pH 7.0, period 4 and 6 weeks)

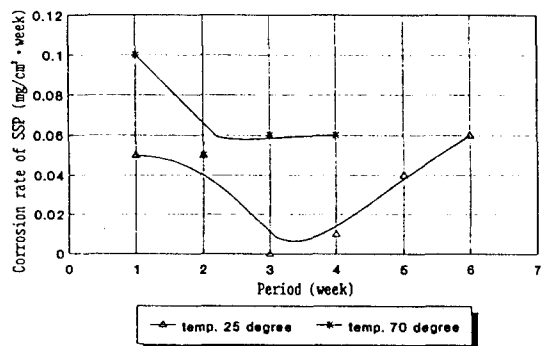


Fig. 8 Corrosion rate of SSP according to temperature(test condition : pH 7.0, period 4 and 6 weeks)

에는  $1.10 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  에서  $1.47 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  로써 조금 증가하는 趨勢를 보였다. 이와 같은 現象은 中性인 물에서의 腐蝕은 陰極反應, 즉 酸素 還元率에 의해 支配되기 때문에 水中의 溶存酸素量이 增加되면 陰極反應이 빨라지고 結果的으로 腐蝕이 促進됨으로써 나타나게 되는 것이다.

그리고 銅管(CCAP)은 Fig. 3 에서와 같이 局部的인 腐蝕이 發生되었으나 4 週동안의 腐蝕速度는 約  $0.04, 0.02, 0.03$  및  $0.03 \text{ mg/}$

$\text{cm}^2 \cdot \text{week}$  였으며 平均값이 約  $0.03 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  로 配管用 炭素鋼管이나 亞鉛鍍鋼管의 腐蝕速度보다는 各各 約 0.7% 및 2.7% 로 가장 낮았고, 스테인레스鋼管보다도 43% 가 낮았다. 그러나 Fig. 4 에서는 溫度가  $25^\circ\text{C}$  인 까닭에 6 週동안의 腐蝕速度가  $0.07 \sim 0.37 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  範圍였고 그 平均값이  $0.26 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  로 스테인레스鋼管의 平均값인  $0.04 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  보다도 腐蝕速度가 높다는 것을 알 수 있다. 이 結果는 腐蝕速度

는 거의 비슷하게 進行되나 腐蝕實驗 環境에서 오는 差異가 상당히 腐蝕實驗 結果에 影響을 미치고 있음을 立證하는 것이다.<sup>8)</sup>

스테인리스 鋼管(SSP)은 1 週間 實驗後에 銲接部 隣接部位에서 局部的인 腐蝕이 發生되었으나 4 週동안의 腐蝕速度는 約 0.10, 0.05, 0.06 및 0.06  $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{week}$  로 平均값은 約 0.07  $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{week}$  로 나타났다. 그러나 Fig. 4 에서의 스테인리스 鋼管的 腐蝕速度는 0.00~0.06  $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{week}$  範圍였고, 그 平均값이 0.04  $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{week}$  로써 鋼管보다 낮았다. 그러므로 溫度 70°C 實驗條件에서의 配管用 炭素鋼管>亞鉛鍍鋼管>스테인리스 鋼管>銅管의 順序로 나타났고 溫度 25°C인 常溫에서 實驗한 結果에서는 銅管과 스테인리스 鋼管의 順序가 바뀌었다고 볼 수 있는 이 結果는 洪<sup>28)</sup>의 實驗結果와 比較해 볼 때 도 Fig. 3 은 銅管과 스테인리스 鋼管의 順序가 바뀌었고, 配管用 炭素鋼管의 腐蝕速度가 減少하는 傾向을 보이는 것이 다르다고 볼 수 있으나 이는 實驗期間이 오래갈수록 점점 더 腐蝕速度가 增加하는 趨勢를 보이는 Fig. 4 의 結果를 보면 잘 알 수 있을 것이다. 다만 그 理由가 분명하지 않기 때문에 實驗條件이 洪<sup>43)</sup>은 試水가 흐르는 條件下에서, 溫度도 80°C에서 實驗한 경우이기 때문에 두 結果置를 직접 比較할 수 없을 것이다.

### 3.3.2. pH 變化에 따른 腐蝕速度

配管用 炭素鋼管, 水道用 亞鉛鍍鋼管, 銅管 그리고 스테인리스 鋼管 등 4 種類의 配·給水管을 試片으로 하여 pH 變化에 따른 腐蝕速度를 調査하고자 溫度는 常溫인 25°C

에서 安定시키고 pH 를 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 및 8.0 으로 變化시키면서 6 週동안 實驗을 해 보았다.

Fig. 9 에서 보는 바와 같이 配管用 炭素 鋼管의 경우에 pH 變化에 따른 腐蝕速度 變化는 6 週동안 平均값으로 볼 때 pH 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 및 8.0 으로 變化시키면서 實驗한 結果 腐蝕速度가 각각 2.86, 2.75, 2.26, 2.52 그리고 2.43  $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{week}$  로 나타났다. 이 結果는 대체로 水質의 pH가 알칼리성일 때 보다는 酸性일 때가 腐蝕性이 상대적으로 크고, 液性이 中性이나 그 以下인 pH 6.0, 6.5 및 7.0 일 때 腐蝕速度는 實驗期間이 經過할수록 減少하는 傾向을 보여주고 있는 반면 液性이 中性 以上인 pH 7.5~8.0 일 경우에는 점차적으로 腐蝕速度가 增加하는 趨勢를 보여주고 있다. 특히 pH 7.0 을 中心으로 해서 뚜렷하게 液性에 따라 區分되어짐을 알 수 있다.

水道用 亞鉛鍍鋼管의 경우에는 腐蝕速度의 6 週동안 平均값이 pH 6.0 에서 pH 8.0 까지 차례로 2.34, 2.13, 1.99, 1.18 및 1.07

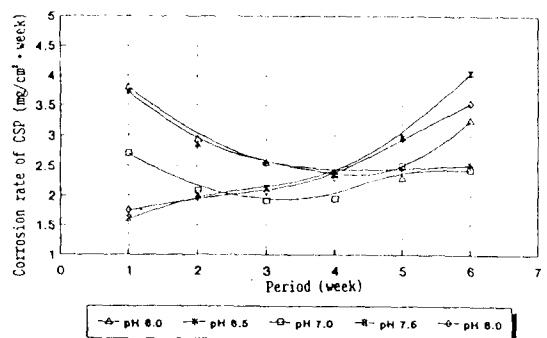


Fig. 9 Corrosion rate of CSP according to pH (test condition : temp. 25°C, period 6 weeks)

mg/cm<sup>2</sup> · week 로 나타났는데 보다 자세한 pH 에 따른 腐蝕速度 變化는 Fig. 10 에 나타낸 바와 같다. 그러나 Fig. 9 의 配管用 炭素鋼管의 경우와 거의 비슷한 傾向을 나타내고 있으나 大體적으로 불 때 亞鉛鍍金으로 인해서 腐蝕速度가 낮고, 液性이 酸性일 때는 거의 비슷하나 液性이 알칼리성일 때는 다소 낮은 傾向을 보여주고 있다.

Fig. 11 에 나타나 있는 바와 같이 銅管의 경우에는 pH 變化에 따른 腐蝕速度가 6 週 동안의 平均값으로 0.28, 0.41, 0.26, 0.24 그리고 0.11 mg/cm<sup>2</sup> · week 로 나타났다. 이 結果는 配管用 炭素鋼管이나 水道用 亞鉛鍍鋼管과 같이 液性에 따른 뚜렷한 區分은 없으나 다만 酸性 領域인 pH 6.0 에서는 實驗期間이 經過할수록 腐蝕速度가 增加하다가, 급속하게 減少하는 趨勢를 보인 반면 pH 6.5 에서는 급격히 減少하는 추세를 보이다가 다소 회복되는 모양을 나타내고 있다.

또한 Fig. 12 는 스테인리스鋼管의 pH 에 따른 腐蝕速度 變化를 나타낸 것인데 그 6 週 동안 平均값을 보면 pH 6.0 에서 pH 8.0

까지 차례로 0.23, 0.25, 0.04, 0.14 그리고 0.01 mg/cm<sup>2</sup> · week 로 나타났다. 이 結果는 液性이 酸性일 때는 상당히 腐蝕速度가 높으나, 다른 큰 影響을 받는 것으로 判斷할 수 있다. 그래서 腐蝕制御를 할 때는 pH 變化에 따른 腐蝕防止 또는 遲延 등이 좋은 腐蝕制御의 한 方法이 될 수 있다는 것을 보여주고 있는 것이다.

3.3.3 腐蝕生成物의 組性分析

水道管內에 形成되어 있는 스케일의 組性

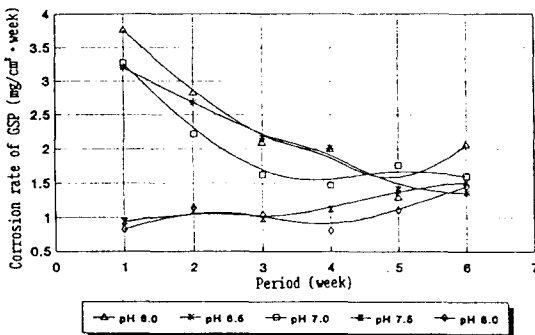


Fig. 10 Corrosion rate of GSP according to pH (test condition : temp. 25°C, period 6 weeks)

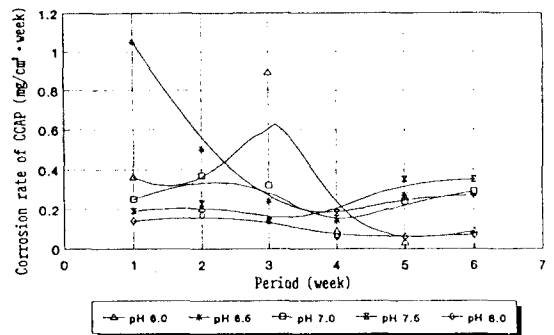


Fig. 11 Corrosion rate of CCAP according to pH(test condition : temp. 25°C, period 6 weeks)

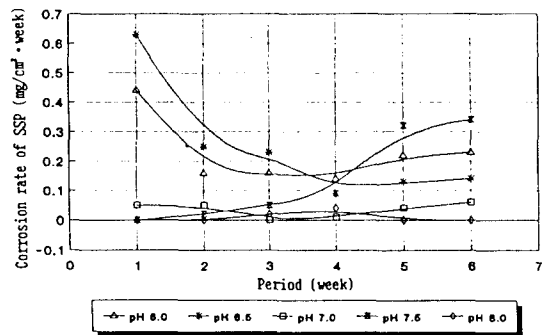


Fig. 12 Corrosion rate of SSP according to pH(test condition : temp. 25°C, period 6 weeks)

을 分析하기 위해서 서울地域과 群山地域에서 採取한 配水管인 鑄鐵管內的 스케일을 試料로 해서 E.D.S(energy dispersive X-ray spectrometer ; model : AN-10,000 link system) 分析機器를 利用하여 試料에 炭素를 코팅處理하여 分析을 해 본 結果 서울市 地域에서 採取한 스케일을 上部地點(물과 直

接 接觸하는 内部表面)과 下部地點(물과 直接 接觸하지 않는 内部)으로 나누어서 分析 하였으며 그 腐蝕生成物의 分析結果는 Table 3에 나타낸 바와 같다.

Table 3의 結果에 의하면 水道管으로 쓰이는 鑄鐵管內에 形成된 腐蝕生成物인 스케일의 組性은 約 82~95% 程度가  $Fe_2O_3$  鐵

Table 3. Analysis values of scale composition for ductile cast iron pipe

area	Seoul city		Kunsan city
	bottom	upper	
oxidant	% oxide	% oxide	% oxide
$SiO_2$	2.538	5.083	1.645
$Al_2O_3$	1.208	8.455	0.551
$Fe_2O_3$	89.485	82.803	95.145
$Na_2O$	0.995	0.000	0.000
$MoO$	0.169	0.291	0.000
$CaO$	0.130	0.428	0.10
$K_2O$	0.000	0.008	0.108
$TiO_2$	0.009	0.077	0.071
$SO_3^{2-}$	4.637	1.035	2.035
$MnO$	0.251	0.881	0.049
$Cr_2O_3$	0.000	0.100	0.000
$Cl^-$	0.579	0.839	0.387
total	100.0	100.0	100.0

酸化物로 形成되어 있으며 그 다음으로  $Al_2O_3$ 나  $SiO_2$ 가 약 1~8% 程度 包含되어 있다. 그리고 다른 酸化物들은  $SO_3^{2-}$ 가 약 1~5% 程度로  $Cl^-$ 이온과 함께 있는 것을 알 수 있으며 나머지는  $CaO$ ,  $K_2O$ ,  $MnO$  및  $TiO_2$  등이 少量 含有되어 있다.

특히 地域에 따른 스케일組成의 差異는 서울地域과 群山地域으로 나누어 볼 때 群山地域에서는  $Fe_2O_3$ 가 약 95%로 제일 많고 그 다음이  $SO_3^{2-}$  및  $SiO_2$ 가 약 2% 程度,  $Al_2O_3$  약 1% 그리고  $CaO$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $Cl^-$  및  $MnO$  등의 順으로 少量 含有하고 있으나 서울地域에서는 스케일이 鑄鐵管에 붙어 있는 下部地點과 물과 接觸하고 있는 上部地點과의 差異로 볼 때 管과 接觸하고 있는 下部地點이 역시 腐蝕의 影響으로 인하여 물과 接觸하는 上部地點보다  $Fe_2O_3$ 가 약 7% 程度 더 含有되어 있고, 含有量 順序도 上部地點이  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  및  $SO_3^{2-}$ 인데 반해 下部地點은  $Fe_2O_3$ ,  $SO_3^{2-}$ ,  $SiO_2$  및  $Al_2O_3$ 로 조금 다른 差異를 나타내었다. 특히 上部地點에서 나타나지 않은  $Na_2O$ 가 下部地點에서는 약 1% 程度가 나타났으며, 下部地點에서 나타나지 않은  $Cr_2O_3$  및  $K_2O$ 가 上部地點에서는 각각 약 0.1% 및 0.01%로 調査分析되었다.

#### IV. 結 論

우리나라의 水道는 歐美에 比하여 물의 硬度가 낮으므로 강한 腐蝕성을 띄고 있으나 이에 대한 認識이 不足하여 水道施設의 配·給水施設이 腐蝕現像으로 莫大한 經濟

的 損失을 招來할 뿐만 아니라 赤水 등의 現像으로 水道물의 水質管理에도 많은 問題를 일으키고 있는 實情이다.

本 研究에서 얻은 結果를 要約하면 다음과 같다.

- 1) 給水管으로 使用되고 있는 4個의 金屬管을 試片으로 사용하여 溫度  $70^\circ C$ , pH 7.0에서 腐蝕實驗을 4週間 實施하여 腐蝕速度와 S.E.M 分析을 하였다. 그 結果 配管用 炭素鋼管은 腐蝕速度가  $4.10 \sim 5.22 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  이었고, 亞鉛鍍鋼管은  $0.98 \sim 1.34 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  그리고 銅管과 스테인리스 鋼管은 각각  $0.02 \sim 0.04$  및  $0.05 \sim 0.10 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  의 값들을 나타내었다.
- 2) pH 7.0에서 溫度  $25^\circ C$  와  $70^\circ C$  의 溫度變化에 따른 腐蝕速度를 管種別로 實驗한 結果 配管用 炭素鋼管과 水道用 亞鉛鍍鋼管의 경우  $25^\circ C$ 에서 6週동안 平均값이 각각  $2.26 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  과  $1.99 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  이었다. 또한 銅管과 스테인리스 鋼管의 경우에는  $25^\circ C$  에 각각  $0.26 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  과  $0.04 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  이고,  $70^\circ C$  에서는 각각  $0.03 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  과  $0.07 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{week}$  을 나타내었다. 이 結果로 볼때 配管用 炭素鋼管과 스테인리스 鋼管의 경우에는 溫度 增加로 因하여 腐蝕速度가 增加되었으나 水道用 亞鉛鍍鋼管과 銅管의 경우에는 減少하였다.
- 3) pH 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 및 8.0의 條件으로 實驗한 結果 그 pH 變化에 따른 腐蝕速度는 4個의 金屬管 試片 모두 대체적으로 水質의 pH가 알칼리性 領域일 때보

다는 酸性 領域에서 相對的으로 큰 數值  
를 나타내었다.

또한 水道管으로 使用되는 鑄鐵管內에  
形成된 腐蝕生成物의 組成을 分析한 結  
果, 約 82~95%가  $Fe_2O_3$ 인 鐵酸化物로  
形成되어 있었으며 그 다음으로  $Al_2O_3$ 와  
 $SiO_2$ 가 程度 包含되어 있었다.

### 참 고 문 헌

- 1) 水道用 鋼管ハンドブック, 日本水道鋼  
管協會, pp. 389~403, p. 450
- 2) Corrosion Control for Operators,  
AWWA, pp. 51~57(1986)
- 3) Mullen, E.D. and Pitter, J.A., "Potable  
Water Corrosion Control", J. AWWA,  
Vol. 66, No. 9(1973)
- 4) 李鉉東, 金甲守, 上水管 腐蝕防止 技法  
研究, 韓國建設技術研究院(1990)
- 5) 建設部, 上水管 施設基準(1985)
- 6) Merrill, D.T. and Sanks, R.L., "Corro-  
sion Control by Desposition of  $CaCO_3$   
Films ; Part 1, A Practical Approach  
for Plant Operators", J.AWWA, Vol.  
69, No. 11, pp. 592~599(1977)
- 7) Kenneth B.T., "Selecting and Applying  
Protective Coatings", J.AWWA, Vol.  
76, No. 2(1984)
- 8) Husok, B., "Cathodic Protection of  
Water Storage Tanks", Proc. 6th An-  
nual Appalachian Undergroud Corro-  
sion Short Course, West Va. Univ.(19  
76)
- 9) 門井守夫, "腐蝕メカニズムわ 採る",  
給水設備, pp. 1~5
- 10) 用水廢水便賢編輯委員會便, 用水廢水  
便賢, 改正 二版, 丸善株式會社, pp.  
625~661(1978)
- 11) 石田榮夫, "空氣調和", 衛生工學, 第 56  
號, 第 4號 pp. 7~8(1980)
- 12) 千葉智祥, 工業用水, 第 320號(1985)
- 13) Langelier, W.F., "analytical Control of  
Anti-corrosion Water Treatment", J.  
AWWA, Vol. 28, p. 1500(1936)
- 14) Powell, S., Bacon, M., and Lill, J.,  
"Corrosion Prevention by Controlled  
 $CaCO_3$  Scale", Ind. Eng. Chem., Vol.  
37, p. 842(1945)
- 15) Unlig, H.H., corrosion and Corrosion  
Control, 2nd Ed., New York, p. 111  
(1971)
- 16) Cawmpbell, H.S., "Pitting Corrosion in  
Copper Water Pippes Caused by Films  
of Carbonaceous Material Produced  
During Manufacture", J. Inst. Metal, p.  
77(1950)
- 17) Lucey, V.F., "Mechanism of Pitting  
Corrosion of Copper in Supply wa-  
ters", J.Brit. Corro., Vol. 2, p. 36(1967)
- 18) Lucey, V.F., "Developments Leading  
to the Present Understand of the Me-  
chanism of Pitting Corrosion of Cop-  
per", J.Brit. Corro., Vol. 7, p. 35(1972)
- 19) Shreir, L.L., Corrosion, Vol. 1, 2nd  
Ed., London, p. 4, p. 16(1976)
- 20) Skaperdas, G., Unling, H.H., "Corro-

- sion of Steel by Dissolved Carbon Dioxide and Oxygen", Ind. Eng. Chem., Vol. 34, p. 748(1940)
- 21) Bulter, G., Ison, H.C.K., Corrosion and its Prevention in Waters, 2nd Ed., New York, pp. 138~140(1966)
- 22) Knutsson, L., Mattson, E., Ranberg, B. E., "Erosion corrosion in copper water tubing", J.Brit. Corro., Vol. 34, p. 748 (1940)
- 23) Anderson, D.B., "Factors affecting corrosion of copper and copper alloys in hot sea water", Annual meetong of NACE(1971)
- 24) Syrett, B.C., "Erosion corrosion of copper nickel alloys in sea water and other aqueous Environment", Corrosion, Vol. 32, p. 242(1976)
- 25) Gilbert, G.t., "The nature of zinc corrosion products", J. Electrochem. Soc., Vol. 99, p. 16(1952)
- 26) Cox, G.L. & Roetheli, B.E., "effect of teperature on the Corrosion of Zinc", Ind. Eng. Chem., Vol. 23, p. 902(1931)
- 27) Hoxeng, R.B., Prutton, C.F., "Electrochemical behavior of Zn and Steel in aqueous media", Corrosion, Vol. 5, p. 330(1949)
- 28) 홍순구, 水道管用 金屬材料의 腐蝕舉動 研究, 연세대학교 대학원 석사 논문(1982)
- 29) 이현동, 水道管의 腐蝕防止에 관한 研究, 한양대학교 대학원 박사논문(1991)