

全州 상수도수의 流速 및 溫度가 아연 도금강板의 腐蝕에 미치는 영향

金 起 柱
전북대학교 공과대학 화학공학과

The Influence of Flow Velocity and Temperature on the Corrosion of Galvanized Steel for Chon-Ju Water Supply

Ki Ju Kim

Dept. of Chemical Engineering, College of Engineering, ChonBuk National University

Experiments were performed to study the influence of flow velocity and temperature on the corrosion of galvanized steel for Chon-Ju Water Supply.

Measurements covered a flow velocity range of 0 ~ 3.5m/s, a temperature range of 30 ~ 90°C and an immersion time range of 8 ~ 24h.

The results obtained were summarized as follows:

- 1) The corrosion was activated by increasing flow velocity and temperature. The damage from the flow velocity was severe. This was possibly due to the erosive effect of the water flow.
- 2) The influence of water composition on the corrosion was found to be negligible in flowing surroundings, while the effect was noticed in stationary surroundings at elevated temperatures and long immersion times.

1. 서 론

교하였다.

用水의 流速과 溫度가 장치의 損傷에 미치는 영향이 크다고 알려져 있다.¹⁻⁴⁾ 따라서 流速과 溫度에 의한 장치의 부식에 관한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 그런데 流速과 溫度는 相互作用 하여 부식을 촉진한다고 알려져 있으나⁵⁻⁶⁾ 그들이 갖는 부식의 메카니즘에 관한 연구는 다양화 되어 있지 않다. 그래서 본인은 全州지방의 상수도 수를 이용하여 流速과 溫度가 아연 도금강板의 부식에 미치는 영향에 관해 腐蝕量에 의하여 밝혔으며 크기를 비

2. 실험

2.1. 실험 用水와 장치 및 試片

본 연구의 실험 用水는 Table. 1의 分析值를 갖는 全州 상수도 수이었다. 用水의 流速과 溫度의 영향에 관한 실험은 실험장치인 Heat & Velocity Effect Corrosion Tester (H, Yamasaki Seiki, Model VH-303)를 이용하였다. 또 각 실험에서 腐蝕量은

HPLC(美, Water, Model244)에 의해 試片의 浸漬液으로부터 아연 이온을 ppm(parts per million)량으로 측정하여 나타냈다. 試片은 市販用 규격제품인 아연 도금강板 이었고 두께는 0.7mm이었으며 크기는 본 실험장치의 허용치수인 2.2cm×2.2cm이었다. 試片의 表面은 Ethanol 및 Ether의 順으로 초음파 세척을 하여 脫脂한후 진공 건조 하였으며 脫脂 건조된 試片은 실험 직전에 확대경에 의해 선별하여 사용하였다.

Table 1. Typical analysis of Chon-Ju Water Supply

Chlorides	Iron	Zinc	Sulphate	Manganese	Total hardness	B. O. D.	PH
10~20	0.01~0.02	0.01~0.04	20~50	0.01 or less	25~40	0.7~1.78	7.0~7.1

All figures parts per million except pH

2.2. 실험 방법

一定한 流速(평균流速)과 溫度의 조절 및 유지의 기능을 갖춘 2.1 항에서 언급된 실험장치에 의해 밀폐상태에서 아래와 같이 실험을 수행하였다.

2.2.1. 流速의 영향에 관한 실험

實驗槽에 用水가 흐르는 방향과 平行이 되도록 試片을 고정시켰다. 實驗槽는 고무 패킹에 의해 用水가 試片의 한 측면만 접촉할 수 있도록 되어 있다. 4 리터(liter)의 用水를 水槽에 取하고 temperature controller에 의해 30℃의 一定한 溫度를 유지하면서 check valve에 의해 水槽內의 用水를 0m/s, 0.5m/s, 1.5m/s 및 3.5m/s의 流速으로 實驗槽를 통과하여 흐르게 하였다. 단 0m/s의 流速은 用水의 정지상태를 뜻한다. 이때 試片은 一定한 속도로 흐르는 用水에 浸漬된 상태에 있으며 流速에 의한 영향은 試片이 各流速 상태에서 8시간, 16시간 및 24시간 동안 浸漬된 液으로부터 측정된 아연 이온량으로 나타냈다.

2.2.2. 온도의 영향에 관한 실험

試片은 2.2.1 항에서와 같은 방법으로 實驗槽에 고정하였다. 4 liter의 用水를 水槽에 取하고 tem-

perature controller에 의해 水槽의 水温을 30℃로 一定하게 유지하면서 check valve를 열어서 實驗槽의 試片을 用水로 浸漬시켰다. 이때 水槽나 實驗槽의 水温은 temperature controller에 의해 30℃의 온도가 유지되었다. 온도 30℃의 영향은 試片을 이 溫度에서 流速의 경우와 마찬가지로 8시간, 16시간 및 24시간 동안 각각 浸漬시킨후 이들 浸漬液으로부터 측정된 아연 이온량으로 나타냈다. 50℃, 70℃ 및 90℃의 영향에 관해서도 같은 방법으로 실험하여 나타냈다. 이 실험의 溫度補正值는 ±0.5℃이었다.

2.2.3. 試片의 표면관찰 및 用水의 PH 측정

SEM(日, Hitachi, Model X-650)을 이용하여 流速 및 溫度의 영향에 관한 실험의 직전후에 試片의 表面을 관찰 했으며 또한 각 실험의 직전후에 用水의 PH를 PHmeter(日, Central, Model HG-3)에 의해 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 流速의 영향

30℃에서 用水의 流速과 浸漬시간의 변화에 따른 腐蝕량을 측정하여 Fig.1에 나타냈다. 이 그림으로부터 腐蝕량은 정지상태에서는 浸漬시간에 비례하여 완만하게 증가되나 流速이 증가하면 큰 폭으로 증가 되는 것을 알 수 있다. 이는 전기 화학적인 腐蝕 반응(corrosion)과 流速으로 인한 物理的인 蝕 손(erosion)의 相互作用에 의한 소위 erosion-corrosion 현상에 의한 것으로 생각된다. 이와같은 流体에 의한 erosion-corrosion의 메카니즘에 관해서는 B. Vyas⁷⁾와 W. F. Adler⁸⁾ 및 H. Hojo⁹⁾ 등이 발표한 연구 결과들을 이용하여 밝힐 수가 있다. 즉 Fig.2에서 알 수 있는 바와 같이 用水가 정지상태이거나 流速의 초기 단계에서는 試片의 表面은 전기 화학적인 腐蝕 반응에 의해 A의 (a)와 같은 금속 산화피막이 형성된다. 流速과 流速시간이 증가되면 流速으로 인한 shear stress의 영향으로 금속 산화 피막에는 B의 (a)와 같은 縱的인 크랙이 형성되기 시작한다. (erosion 형성단계), 그후 점차 B의 (b), (c)와 같은 橫的인 크랙으로 성장되어(erosion 形

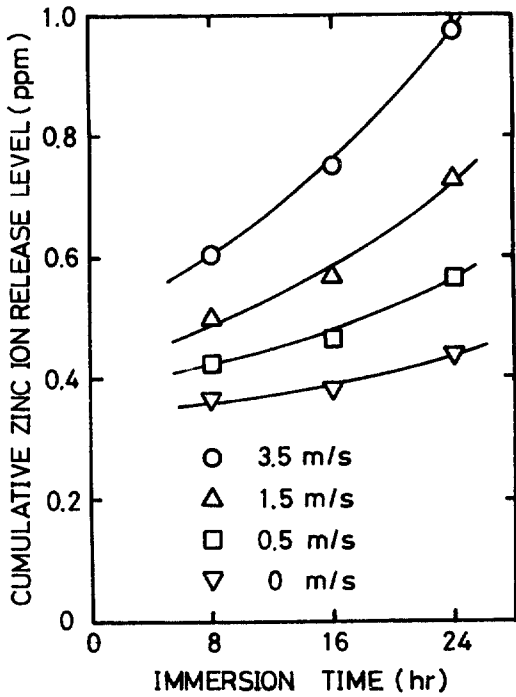
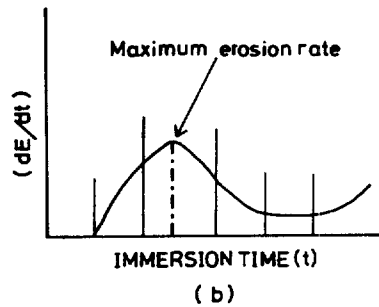
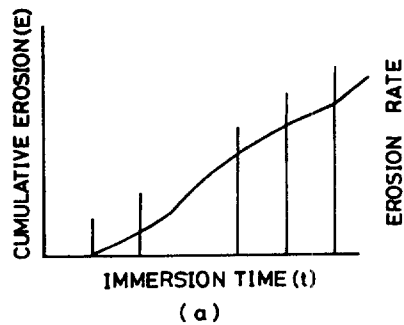
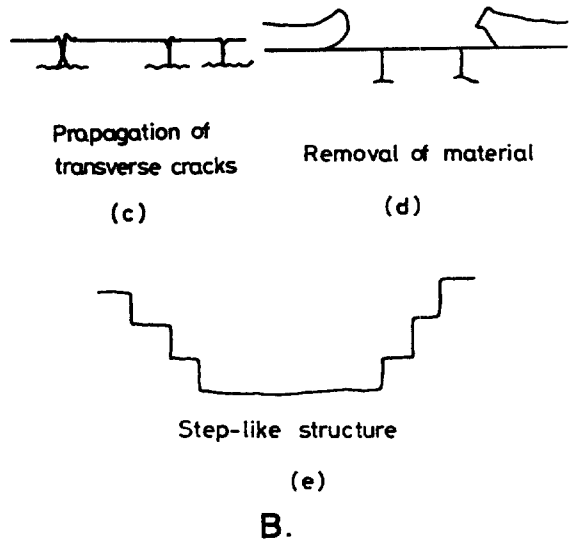
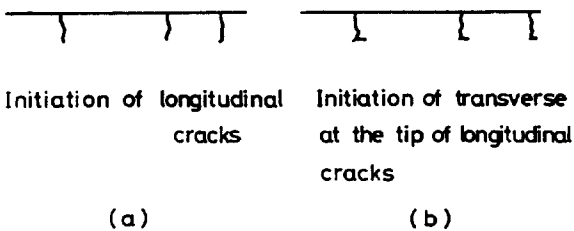
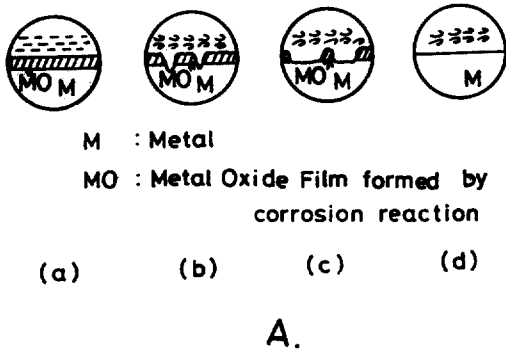


Fig. 1. Influence of immersion time on the cumulative release levels of Zinc ion at various flow velocities at 30°C.



C.

Fig. 2. Schematic representation of erosion-corrosion mechanism.⁷⁻⁹⁾

- A) Progressive changes in corrosion-erosion mechanism with an increase of flow velocity and immersion time.
- B) Progressive changes in erosion mechanism.
- C) Characteristic erosion curves.

장단계) 산화피막은 A의 (b), (c)와 같이 국부적인 손상을 입게되고 결국에는 산화피막은 A의 (d)와 같이 제거된다. (erosion 성숙단계) 산화피막이 제거된 곳에는 다시 erosion의 형성단계가 이루어지고 (그림B의 d) 성숙단계까지 반복 됨으로써 B의 (e)와 같은 큰 손상을 입게 된다. 또한 C의 (a)에서와 같이 erosion에 의한 손상은 浸漬시간 즉 流速시간에 비례하여 급증하나 erosion의 속도는 流速시간이 상당히 경과된 후에 극대가 되는 것을 알수 있다 (그림C의b). 이 극대가 곧 erosion의 성숙단계를 의미하며 그후에는 erosion의 속도는 감소되고 전기화학적인 腐蝕 반응에 의해 다시 erosion의 형성단계에 이르며 erosion의 속도는 다시 극대가 된다. 이와 같이 流速상태에서는 corrosion과 erosion이 相互作用하고 반복되는 메카니즘을 갖게 됨으로써 損傷은 급증된다고 할 수 있다. 流速에 의한 腐蝕량의 변화를 비교하기 위하여 Fig.1의 각 流速의 浸漬시간에 따른 腐蝕량으로 부터 정상상태의 浸漬시간에 따른 腐蝕량을 뺀 값들을 Fig.3에 나타냈다. 그림에서와 같이 동일한 浸漬시간 동안에 流速의 증가로 인하여 腐蝕량은 직선에 가까운 증가를 나타낸다. 이와 같은 결과는 流速의 증가로 인한 ero-

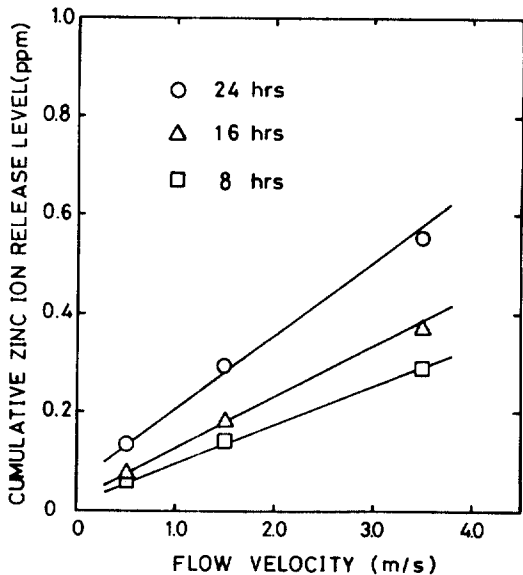


Fig. 3. Influence of flow velocity on the cumulative release levels of Zinc ion at various immersion times at 30°C.

sion현상의 증가에 의한 것으로 생각된다. 따라서 流速의 증가는 erosion으로 인한 試片의 損傷은 급증케 한다고 할 수 있다.

다음에는 증류수를 상수도 수와 같은 流速 조건에서 실험하여 그의 결과를 Fig.4에 나타냈다. 그림에서와 같이 상수도 수나 증류수의 腐蝕량은 거의 같다. 이는 부식의 메카니즘이 같음을 의미하며 流速상태에서는 流体의 성분물질에 의한 영향이 무시되는 것을 의미하기도 한다. 또 Fig.5의 a, b는 1.5m/s와 3.5m/s의 流速상태에서 24시간동안 試片을 浸漬한 후 表面의 부식상태를 나타낸 것이다. 流速의 증가에 따라 부식으로 인한 表面의 損傷은 증대되는 것을 알수가 있다.

3.2. 溫도의 영향

Fig.6에서와 같이 溫度나 浸漬시간이 증가되면 腐蝕량은 증가된다. 즉 온도의 증가는 전기화학적 부식반응을 촉진하는 것으로 나타나 있다. 溫度

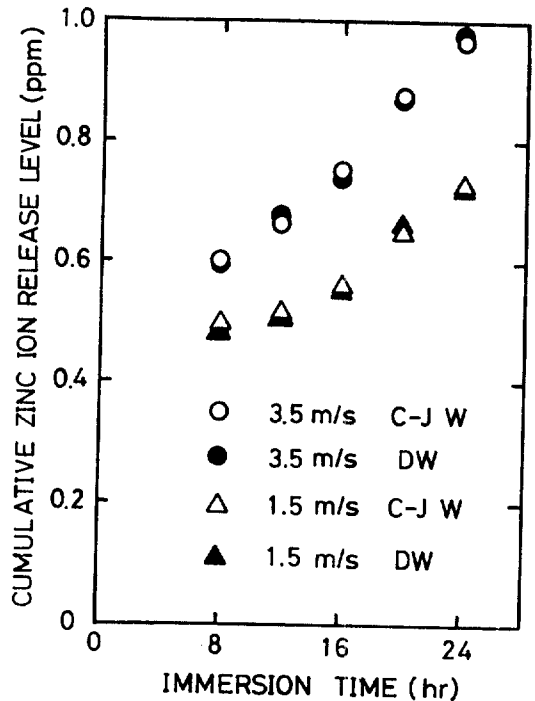


Fig. 4. Comparison of cumulative release levels of Zinc ion in Chon-Ju Water Supply (C-JW) and in distilled water (DW) at different flow velocity at 30°C.

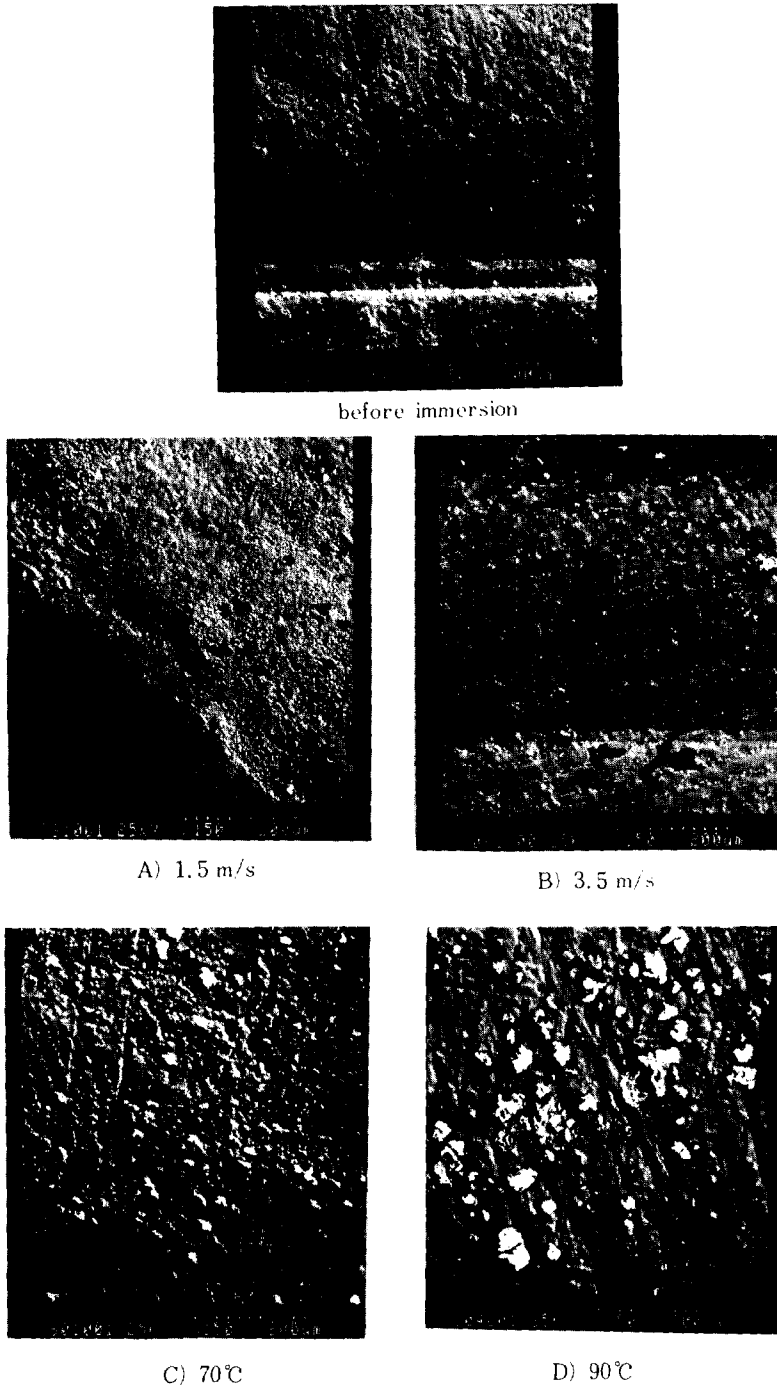


Fig. 5. SEM photographs of specimen surface at different velocity (a,b) and temperature (c,d), immersion time; 24h.

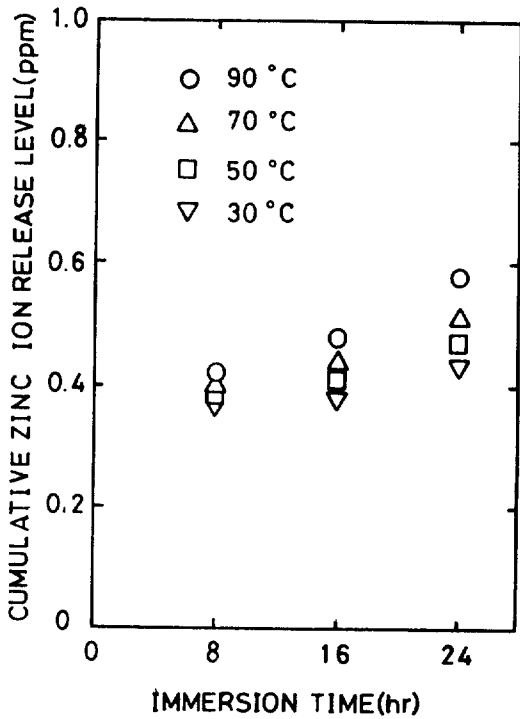


Fig. 6. Influence of immersion time on the cumulative release levels of Zinc ion at various temperatures.

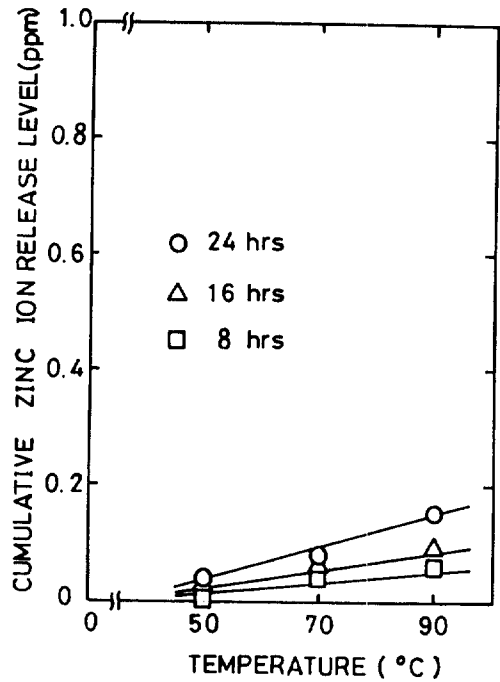


Fig. 7. Influence of temperature on the cumulative release levels of Zinc ion at various immersion times.

의 증가에 의한 腐蝕量의 변화를 비교하기 위하여 Fig.6의 各 温度의 浸漬시간에 따른 腐蝕量으로부터 최저온도인 30°C에서의 浸漬시간에 따른 腐蝕量을 뺀 값들로부터 Fig.7을 얻었다. 그림에서와 같이 同一한 浸漬시간 동안에 温度의 증가로 인한 腐蝕量은 직선에 가까운 완만한 증가를 나타낸다. 또 Fig.5의 c, d는 70°C와 90°C의 温度에서 各 24시간 동안 浸漬한 후의 試片表面의 부식상태를 관찰한 것인데 温度증가에 의한 부식의 증가를 볼수 있다. Fig.8은 70°C와 90°C에서 증류수의 腐蝕量을 측정하여 상수도 수에 의한 것과 비교한 것이다. 70°C의 경우는 비슷하나 90°C에서는 浸漬시간이 증가되면서 차이가 나타난다. 이와같은 현상은 상수도 수의 성분물질의 영향에 의한 것으로 생각되며 따라서 用水의 정지상태에서는 温度와 浸漬시간이 증가되면 用水의 성분물질의 영향을 받게 된다고 할 수 있다.

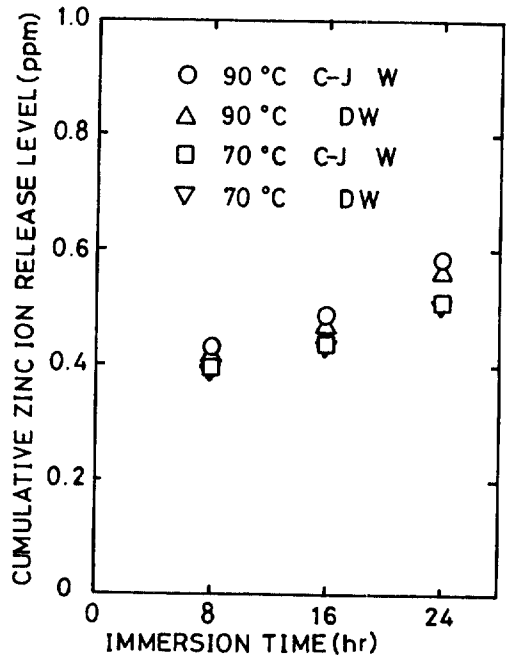


Fig. 8. Comparison of cumulative release levels of Zinc ion in Chon-Ju Water Supply (C-JW) and in distilled water (DW) at different temperature.

3.3. PH 변화

Fig. 9는 실험 전 후의 各 流速과 溫度상태에서 용액의 PH를 측정하여 나타낸 것이다. 流速상태나 溫度상태나 모두가 실험전에 비하여 실험후에는 PH의 증가를 나타낸다. 이는 부식반응으로 인한 증가로 볼 수 있다. 온도상태의 PH는 완만한 증가를 나타내는데 이 현상은 Fig. 7의 溫度증가에 의한 부식반응과 같이 생각하여 볼 수 있다. 즉 온도의 증가에 비해 부식반응은 활발하지 않기 때문에 PH변화도 크지 않다고 할 수 있다. 그런데 流速상태의 PH는 크기나 변화가 온도상태의 경우와 비슷하다. 이는 두 상태의 PH변화의 메카니즘이 동일하다는 것을 의미한다. 따라서 用水의 PH변화는 erosion에 의한 영향보다는 전기화학적 반응 즉 corrosion의 영향을 받는다고 할 수 있다.

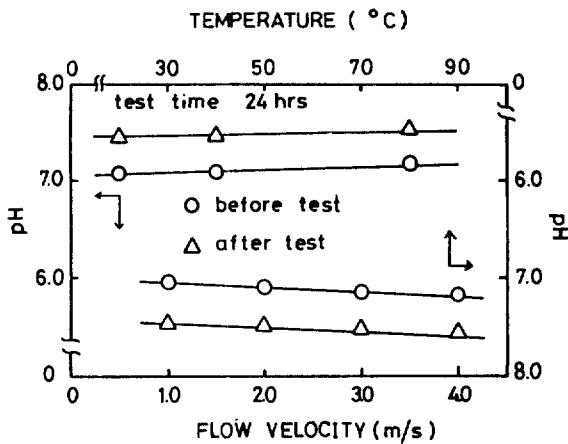


Fig. 9. Variation of pH of the solution before and after tests at various flow velocities and temperatures.

3.4. 流速과 溫度의 영향의 비교

이미 실험을 통하여 밝힌 바와 같이 流速이나 溫度는 腐蝕을 증가시킨다. 그러나 장치의 재료 선정을 위한 자료로서 두 조건의 영향을 비교할 필요가 있다고 본다. 그런데 Fig. 3과 7은 同一한 浸漬시간 동안의 流速과 溫度변화에 따른 腐蝕量의 변화를 각각 나타낸 것들이므로 이들이 갖는 腐蝕係數(各 직선의 기울기)를 비교하면 가능할 것으로 생각된다. 따라서 Fig. 10은 Fig. 3과 7의 各 직선으로부터 구

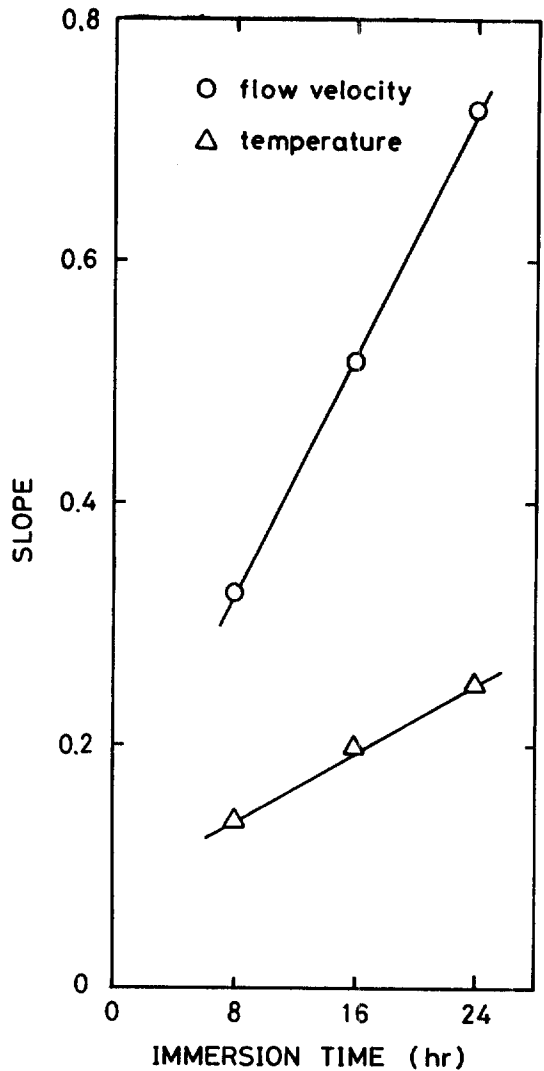


Fig. 10. Influence of flow velocity and temperature on the slope for the cumulative release levels of Zinc ion at various immersion times.

한 기울기를 해당된 浸漬시간에 따라 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 流速에 의한 腐蝕係數는 溫度에 의한 것에 비하여 크기나 浸漬시간에 따른 증가도가 월등하게 크다. 따라서 用水에 의한 試片의 부식은 溫度의 영향보다는 流速의 영향이 심할 것으로 생각된다. 또한 이와같은 결과와 Fig. 9에서 나타난 流速상태와 溫度상태의 PH변화의 메카니즘이 同-하다는 결과에 의하면

流速에 의한 부식의 급증은 전기화학적 부식반응에 의한 것이라기 보다는 erosion에 의한 損傷이라는 것을 알 수가 있다.

4. 결 론

울주 상수도수의 流速(0~3.5m/s)과 溫度(30~90℃)가 한정된 浸漬시간(8~24시간) 동안에 아연 도금강板의 부식에 미치는 영향에 관한 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 즉 流速과 溫度는 부식을 촉진한다. 특히 流速에 의한 영향이 크며 이는 流速에 의한 erosion의 현상에 의한 것으로 생각된다. 또한 流速상태에서는 用水의 성분 물질에 의한 영향은 무시되며 정지상태에서는 온도의 증가와 浸漬시간의 증가에 따라서 성분물질의 영향을 받는 것으로 나타났다.

본 연구는 1987년도 문교부 학술연구조성비의 지원에 의하여 이루어졌음.

5. 참 고 문 헌

1. N. D. Tomashov, "Theory of corrosion and protection of metals," The Mcmillan Co., 57 (1966).
2. U. R. Evans, "An introduction to metallic corrosion," 3rd Ed., Edward Arnold Co., 122 (1981).
3. Fontana and Greene, "Corrosion engineering," McGraw-Hill Co., 18 (1978).
4. J. C. Scully, "The fundamentals of corrosion," 2nd Ed., Pergamon press, 11 (1975).
5. G. Butler and H. C. K. Ison, *J. appl. chem.*, 10 (February), 80 (1960).
6. M. F. Obrecht, *Corrosion*, 18 (May), 189 (1962).
7. B. Vyas, "Erosion-Corrosion," (Treatise on materials science and technology, vol. 16), Academic Press, 359 (1979).
8. W. F. Adler, "The mechanics of liquid impact," (Treatise on materials science and technology, vol. 16), Academic Press, 127 (1979).
9. H. Hojo, K. Tsuda and C. M. Thai, *J. of testing and evaluation*, 9 (6), 359 (1981).
10. M. C. Rochester and J. H. Byunton, "Influence of physical properties of the liquid on the erosion of solids," (ASTM special technical publication 567), 128 (1973).