

한국부식학회지
Journal of the Corrosion Science Society of Korea
Vol. 13, No.4, Dec. 1984.

〈기술해설〉

Langelier Index 계산방법의 변천과 수질 (pH) 관리방법

이재익* · 서근학** · 성봉훈*

* 한국비료공업주식회사 ** 부산수산대학

— 순 서 —

1. 서 론
2. 각 제안자의 지표와 변천사
3. 각 지수에 대한 문제점
4. 결 론 (柏原正純의 pH관리 제안)

1. 서 론

대부분의 중화학공업과 석유화학공업등의 각종화학공장에서서는 공업용수의 60% 이상을 냉각수로 사용하고 있는 실정인바, 공업용수를 방식제, 응집제, 살균제 및 Scale방지제 등의 약품을 사용하지 않고 그대로 냉각수로 사용할 경우 표 1에서 보는 바와 같이 Calcium Carbonate 등과 같은 물질이 석출되므로서 Scale 장해를 일으키는 동시에 미생물에 의한 Slime 장해와 부식장해를 일으키며, Scale, Slime, 부식생성물 및 水中의 현탁물질로 인하여 配管閉塞現象을 일으킨다.

일반적으로 공업용수 수질에 의한 Scale성과 부식성을 판단하는 방법으로서는 옛날부터 Langelier, Ryznar, Powell, Hoover 및 Nordwell 과 Fair와 Geyer의 지표가 널리 사용되고 있으나 그중 Langelier, Ryznar, Powell 3者的 지표는 어느것이든 Calcium Carbonate (CaCO₃)으로서 Scale성과 부식성과의 관계를

제한한 지표로서 현재 공업용수의 특성을 조사하기 위하여 널리 사용되고 있다.

柏原正純氏는 上記 3者가 제안한 지표의 상호관계와 문제점에 대하여 연구검토한 결과 Ryznar氏와 Powell氏가 제안한 pH범위를 수학적으로 확인하였을 뿐만 아니라 수질의 pH관리 목표치로서 가장 적당하다는 결론을 얻었으나 2~3가지 문제점을 내포하고 있음을 알았다.

따라서 본문에서는 Langelier Index (Saturation Index)에 대한 개요와 계산방법의 변천사 및 계산방법에 따른 문제점과 pH관리 목표범위 설정에 대하여 柏原正純의 보문을 인용하여 간단히 서술코저한다.

표 1. 냉각수 수질에 의한 scale 종류

항 목	종 류	비 고
Ca계통 (Mg)	CaCO ₃	*C-P결합을 갖인 Inhibitor로 인해 결정 거대화가 방지된다. *Ca ₁₀ (OH) ₂ (PO ₄) ₆ 형태로 존재
	CaSO ₄	
Si계통	Ca ₃ (PO ₄) ₂	
	SiO ₂	
	CaSiO ₃ Ca ₂ SiO ₄	
Fe계통	Fe ₂ O ₃	
	Fe ₃ O ₄	

2. 각 제안자의 지표와 변천사

2-1 Langelier factor

천연수중에 Calcium 및 Magnesium이 다량 함유되어 있으면 물의 경도(Hardness)가 상승되어 물과 접촉하고 있는 금속부위에 Calcium Carbonate 등과 같은 피막이 형성되므로써, 경수(硬水)가 연수(軟水, soft water)에 비해 부식성이 약하게 된다. 단지 이러한 피막은 물의 경도성분 뿐만 아니라, alkali 度, 유리탄산, pH 및 증발잔사, 온도 등에 영향을 받으므로 이에 관한 연구가 1912년 독일의 Dr. J. Tillmans 등에 의하여 遊離炭酸과 alkali 度에서 침식성 탄산의 有無에 따른 부식에 관한 연구가 진행된 이래 1936년 Langelier가 물의 부식성과 Scale 性的 정도를 나타내는 지수로서 水中의 CaCO₃ 포화지수를 제안하였다.

Langelier는 水中의 Calcium Carbonate가 용존에 필요한 遊離炭酸에 의한 pH, 즉 pH_s(평형정수)는 水中에서 CaCO₃-H₂O-CO₂의 평형관계에 있어서 CaCO₃+M⁺⇌Ca⁺⁺+HCO₃⁻와 같이 해리되어 용존하고 있

으므로 Calcium Carbonate의 용해계수와 탄산제 2 해리정수에서 유도한 계수로서

$$pH_s = (pK'_1 - pK_a) - \log(Ca^{++}) - \log(ALK) + \log(1 + \frac{2K_s}{H_s})$$

로 설명되며 上記式에 의하여 Langelier 계수를 구한다.

Ca⁺⁺ : Ca mole 수

ALK : alkali 度(CaCO₃)의 당량

H_s : CaCO₃로서 포화되었을 경우 수소 ion 농도

pH_s : CaCO₃ 포화 pH

K'₁ : H₂CO₃의 해리정수

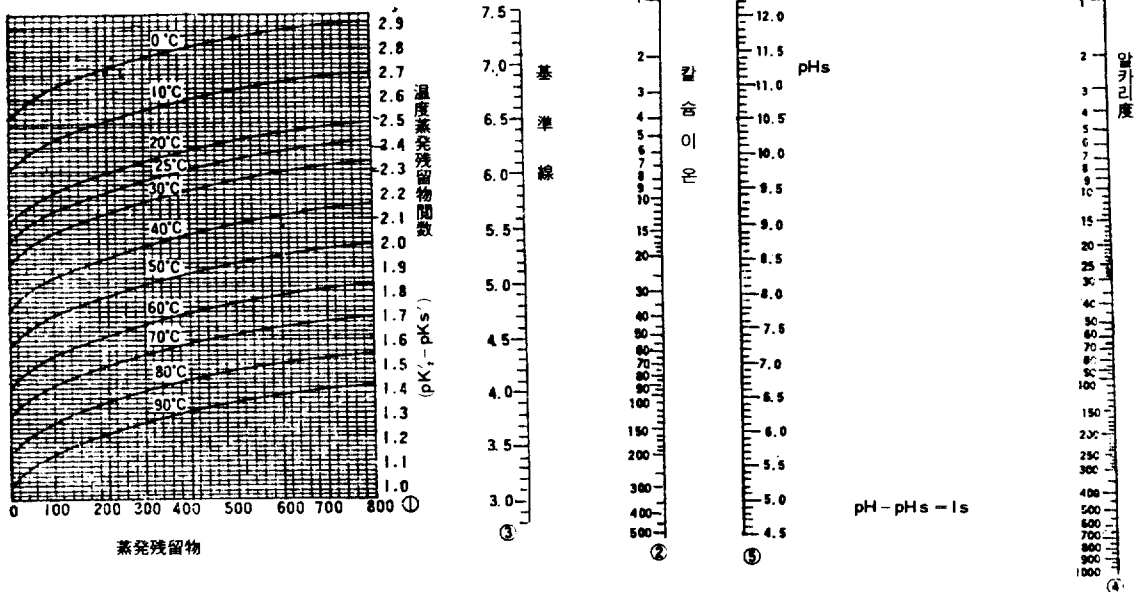
K'_s : CaCO₃의 ion積

따라서 Langelier factor는 pH_s를 이론에 따라 다음식으로 산출할 수 있다.

$$pH_s = (pK'_2 - pK_a) + pCa + pALK$$

이 식에 있어서 (pK'₂ - pK_a)는 온도와 증발잔사와의 관계이며 Langelier 氏가 작성한 도표1, 그림1)에서도 구할 수 있다.

(도표1) Langelier 公式에 의한 飽和指數算出-그래프와 計算圖表-



飽和pH의 試驗에 必要한 測定値

- (a) 總알카리度 mg/l CaCO₃
- (b) 칼리슘이온 mg/l Ca⁺⁺
- (c) 蒸發殘留物 mg/l
- (c) 測定時的 溫度 °C

範圍 7.0~9.5에 적용

表와 使用法

- (a) 測定時的 溫度와 蒸發殘留物から溫度, 蒸發殘留物間數①를 구한다.
 - (b) 위의 ①의 계수와 ②의 칼리슘이온 값으로, ③의 基準線과의 交点을 한다.
 - (c) 위의 ③의 基準線의 点과 ④의 알카리 값으로⑤에서 pHs를 알수있다.
- CHARLES P. HOOVER에 의거 J. A. W30. 1938 (R1802~1807)

表 2.25℃에 있어서의 여러가지 이온強度에 따른 K'₂와 pK'ₛ의 값과 (PK'₂ - PK'ₛ)의 各種溫度에서의 값

이온 濃度	蒸殘 留 發物	25℃			(pK'₂ - pK'ₛ)							
		pK'₂	pK'ₛ	pK'₂ - pK'ₛ	0℃	10℃	20℃	50℃	60℃	70℃	80℃	90℃
0.00000	0	10.26	8.32	1.94	2.20	2.09	1.99	1.73	1.65	1.58	1.51	1.44
0.0005	20	10.26	8.23	2.03	2.29	2.18	2.08	1.82	1.74	1.67	1.60	1.53
0.001	40	10.26	8.19	2.07	2.33	2.22	2.12	1.86	1.78	1.71	1.64	1.57
0.002	80	10.25	8.14	2.11	2.37	2.26	2.16	1.90	1.82	1.75	1.68	1.61
0.003	120	10.25	8.10	2.15	2.41	2.30	2.20	1.94	1.86	1.79	1.72	1.65
0.004	160	10.24	8.07	2.17	2.43	2.32	2.22	1.96	1.88	1.81	1.74	1.67
0.005	200	10.24	8.04	2.20	2.46	2.35	2.25	1.99	1.91	1.84	1.77	1.70
0.006	240	10.24	8.01	2.23	2.49	2.38	2.28	2.00	1.94	1.87	1.80	1.73
0.007	280	10.23	7.98	2.25	2.51	2.40	2.30	2.05	1.96	1.89	1.82	1.75
0.008	320	10.23	7.96	2.27	2.53	2.42	2.32	2.07	1.98	1.91	1.84	1.77
0.009	360	10.22	7.94	2.28	2.54	2.43	2.33	2.08	1.99	1.92	1.85	1.78
0.010	400	10.22	7.92	2.30	2.56	2.45	2.35	2.10	2.01	1.94	1.87	1.80
0.011	440	10.22	7.90	2.32	2.58	2.47	2.37	2.12	2.03	1.96	1.89	1.82
0.012	480	10.21	7.88	2.33	2.59	2.49	2.39	2.13	2.04	1.97	1.90	1.83
0.013	520	10.21	7.86	2.35	2.61	2.50	2.40	2.15	2.06	1.99	1.92	1.85
0.014	560	10.20	7.85	2.36	2.62	2.51	2.41	2.16	2.07	2.00	1.93	1.86
0.015	600	10.20	7.83	2.37	2.63	2.52	2.42	2.17	2.08	2.01	1.94	1.87
0.016	640	10.20	7.81	2.39	2.65	2.54	2.44	2.19	2.10	2.03	1.96	1.89
0.017	680	10.19	7.80	2.40	2.66	2.55	2.45	2.20	2.11	2.04	1.97	1.90
0.018	720	10.19	7.78	2.41	2.67	2.56	2.46	2.21	2.12	2.05	1.98	1.91
0.019	760	10.18	7.77	2.41	2.67	2.57	2.47	2.21	2.12	2.05	1.98	1.91
0.020	800	10.18	7.76	2.42	2.68	2.58	2.48	2.22	2.13	2.06	1.99	1.92

W. F. Langelier, J. A. W. W. A. 1936

또한 pCa와 pALK는 아래와 같은 공식에 의해 산출할 수 있으나 계산을 신속히 하기 위하여 Langelier가 작성한 (표 2)에서 산출한다.

$$pCa = \log(1/\text{moles Ca}^{++} \text{ mg}/\ell)$$

$$pALK = \log(1/\text{Equivalent ALK mg}/\ell)$$

따라서 上記式에서 구한 pHs와 실측한 pH와의 차를 구하므로써 물의 부식성과 Scale性 여부를 측정하는 지표로 하고 있으며, pHs와 pH와의 차 즉 pH-pHs를 Saturation Index(포화지수)라 하며 Is로 표기한다. 일반적으로 Is에 의한 판정법은 아래와 같다.

- 1) Is > 0 : Scale경향
- 2) Is = 0 : 화학적 평형상태
- 3) Is < 0 : Corrosion경향(보호피막형성불가)

1936년 Langelier가 上記와 같은 지수를 제안한 이후 上記式에 의한 계산방법이 번거로울 뿐만 아니라 번잡하기 때문에 보다 신속하게 구할 수 있는 계산방법이 여러가지로 제안되었으나 각각 2~3가지의 문제점을 내포하고 있는 실정이다.

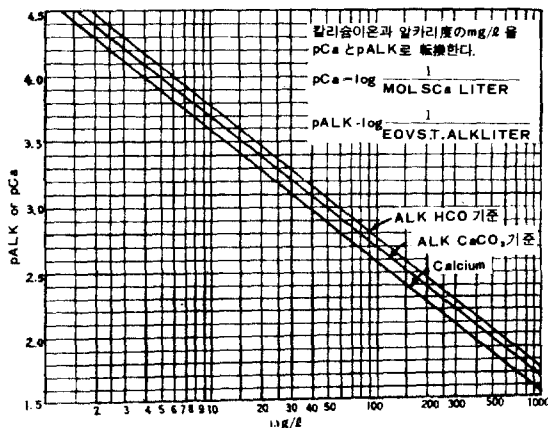


그림 2) Langelier 計算圖表

2-2 Charless P. Hoover의 계산방법

1938년 Charless P. Hoover는 포화지수를 보다 간편하게 산출하기 위하여 온도와 증발잔사와의 관계를 구한후 Ca⁺⁺과 Alkal度로서 pHs를 산출할 수 있는 계산도표(그림 2)를 발표하였으나 이 방법은 pH범위가 7.0~9.5범위에서만 적용할 수 있는 방법으로써 직접 포화지수를 산출할 수 있다.

2-3 E. Nordell의 계산방법

1942년 T. E. Larson과 A. M. Buswell이 발표한 증발잔사와 온도의 보정식을 이용하여 Nordell이 유도한 간편한 계산식으로서 일반적으로 널리 사용되고 있다.

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

- A : 증발잔사의 계수 Nordell의 보정계수
- B : 온도의 계수 (표 3)
- C : Ca⁺⁺ 또는 Ca-H의 계수
- D : alkali도의 계수

2-4 Sheppard T. Powell

1940년 Powell 등은 온도와 증발잔사로서 일정한 관계식을 구한 후, 별도로 Calcium 경도와 Alkali(산소비량)으로서 pCa와 pAlk를 구하여 pHs를 구할 수 있도록 계산도표(그림 3)를 발표하였으며, 각종 실험을 행하여 Langelier factor (pH_s)가 Zero時 보다 Scale性을 나타내는 값을 가질때 안정한 방식피막이 형성되어 방식효과가 우수하다는 결론을 내렸다. 즉 Langelier factor I_s는 다음과 같이 제안되었다.

$$+0.6 < I_s < +1.0$$

表 3. Langelier指數(炭酸칼슘飽和)迅速 計算表

(Langelier의 公式를 기준하여 Larson과 Buswell이 溫度修正해서, Nordell이 整理했다.)

A

蒸 発 残 留 物	A 值
50 - 300	0.1
400 - 1,000	0.2

B

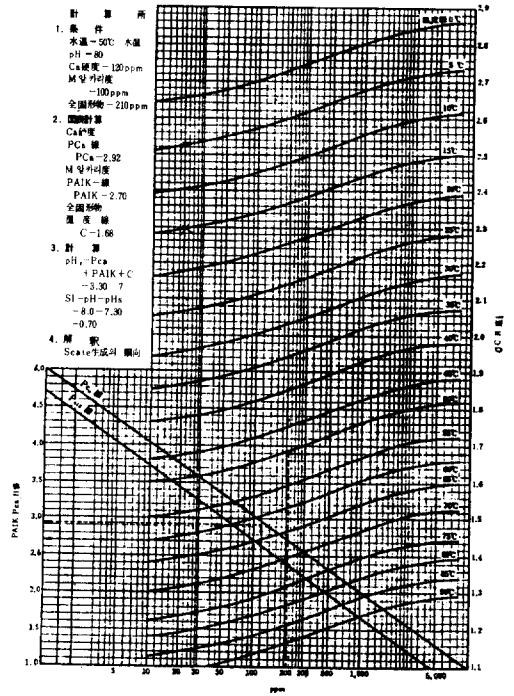
水 温 度		B 值
℃	°F	
0 - 1.1	32 - 34	2.6
2.2 - 5.6	36 - 42	2.5
6.7 - 8.9	44 - 48	2.4
10.0 - 13.3	50 - 56	2.3
14.4 - 16.7	58 - 62	2.2
17.6 - 21.1	64 - 70	2.1
21.2 - 26.7	72 - 80	2.0
27.8 - 31.1	82 - 88	1.9
32.2 - 36.7	90 - 98	1.8
37.8 - 43.3	100 - 110	1.7
44.4 - 50.0	112 - 122	1.6
51.1 - 55.6	124 - 132	1.5
56.7 - 63.3	134 - 146	1.4
64.4 - 71.1	148 - 160	1.3
71.2 - 81.1	162 - 188	1.2

℃

칼슘이온 Ca ⁺⁺	칼슘경도 CaCO ₃	C 值
4.0 - 4.4	10 - 11	0.6
4.8 - 5.2	12 - 13	0.7
5.6 - 6.8	14 - 17	0.8
8.2 - 8.8	18 - 22	0.9
8.8 - 10.8	23 - 27	1.0
11.2 - 13.6	28 - 34	1.1
14.0 - 17.2	35 - 43	1.2
17.6 - 22.0	44 - 55	1.3
22.4 - 27.6	56 - 69	1.4
28.0 - 34.0	70 - 87	1.5
35.2 - 44.0	88 - 110	1.6
44.5 - 55.3	111 - 138	1.7
55.7 - 69.7	139 - 174	1.8
70.1 - 88.1	175 - 220	1.9
92.1 - 108.1	230 - 270	2.0
112.1 - 136.1	280 - 340	2.1
140.1 - 172.2	350 - 430	2.2
176.2 - 220.2	440 - 550	2.3
224.2 - 276.2	560 - 690	2.4
280.3 - 348.3	700 - 870	2.5
352.4 - 400.4	880 - 1000	2.6

D

알 카 리 도 · CaCO ₃	D 值
10 - 11	1.0
12 - 13	1.1
14 - 17	1.2
18 - 22	1.3
23 - 27	1.4
28 - 35	1.5
36 - 44	1.6
45 - 55	1.7
56 - 69	1.8
70 - 88	1.9
89 - 110	2.0
111 - 139	2.1
140 - 176	2.2
177 - 220	2.3
230 - 270	2.4
280 - 350	2.5
360 - 440	2.6
450 - 550	2.7
560 - 690	2.8
700 - 880	2.9
890 - 1000	3.0



Ca硬度 (CaCO₃ 기준) M양카리도 (CaCO₃ 기준), 全固形物의 各은금

그림 3) W. F. Langelier 飽和指數度 (S. T. Powell에 의거)

(1) 각각의 測定值부터 A, B, C 및 D를 구하여 다음 計算과 같이 계산한다.

(2) $pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$

(3) 飽和指數 (Is) = $pH - pH_s$

가령 指數가 0 일 경우는 化學的으로 平衡을 이룬다.

가령 指數가 + 값을 나타낼 때는 Scale을 析出한다.

가령 指數가 - 값을 나타낼 때는 腐食의 性質을 나타낸다.

E. Nordell: 「Water Treatment for Industrial and Other Uses,」 1951에 의거.

2-5 G. N. Fair and T. S. Geyer 의 계산방법

1954년에 이르러 G. N. Fair氏와 T. S. Geyer 氏는 Langelier 이론을 이용하여 각종 실험과 계산을 행하고, 중발산자와 온도에 대해서는 Larsan과 Buswell의 보정치를 이용하여 아래와 같은 포화지수 계산법을 유도하였을 뿐만 아니라, 계산방법이 번거롭기 때문에 그다지 이용되지 않고 있는바, 손쉽게 이용할 수 있도록 계산도표를 작성하였다. (그림 4)

$$pH_s = \log\left(\frac{K_s}{K_2}\right) - \log(Ca^{++}) - \log(ALK) + 6.301 + S$$

$$K_2 = 4.69 \times 10^{-11}, K_s = 4.82 \times 10^{-9} \text{로 하면}$$

$$K_s/K_2 = 4.82 \times 10^{-9} / 4.69 \times 10^{-11}$$

$$= 1.03 \times 10^2$$

$$\log \frac{K_s}{K_2} = 2.01289$$

$$\therefore pH_s = 8.313 - \log(Ca^{++}) - \log(ALK) + S$$

$$S = \frac{2\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}$$

$\mu : 2.5 \times 10^{-5} \times T. D. S$

를 上記式에 代入 정리하면

$$pH_s = 8.313 - \log(Ca^{++}) - \log(ALK)$$

$$+ \frac{2\sqrt{2.5 \times 10^{-5} \times T. D. S}}{1 + \sqrt{2.5 \times 10^{-5} \times T. D. S}}$$

上記式은 25°C에 있어서의 기본식인바 Is는 온도 1°C

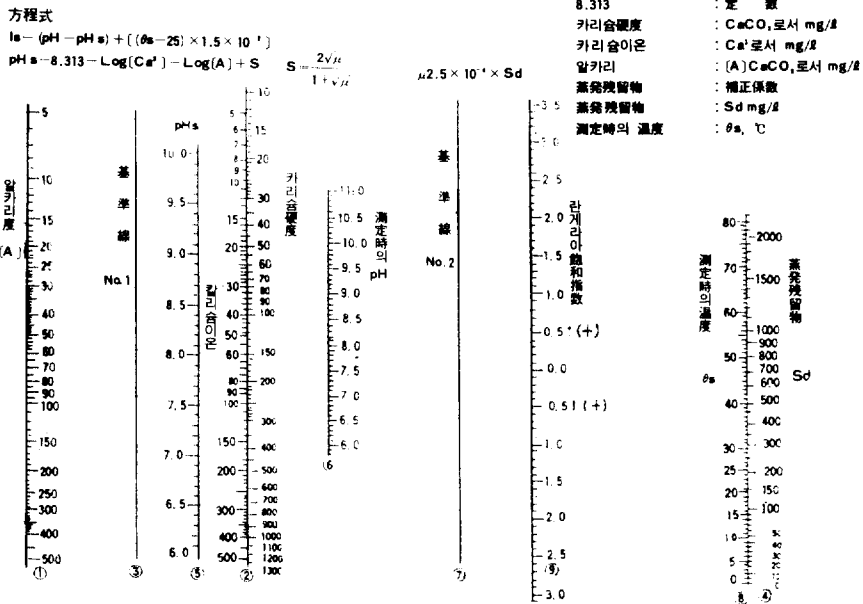


그림 4) Langelier飽和指數算出計算圖表
 G. N. Fair and J. S. S. Geyer (1954)

변화로써 1.5×10^{-3} 정도 변화되므로 다음과 같이 보정 된다.

$$pH - pH_s = I_s + (\theta_s - 25) \times 1.5 \times 10^{-3}$$

θ_s : 측정온도

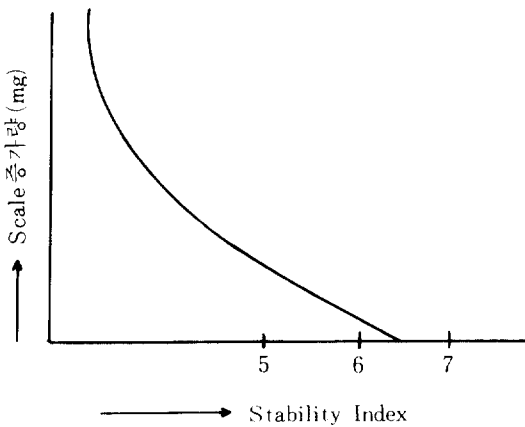
2-6 Ryzner, J. W의 안정도지수

Ryzner는 여러가지 실험을 행한 후 Scale의 증가량은 약품을 처리하지 않은 System에 대해서 아래와 같이 발표하였다.

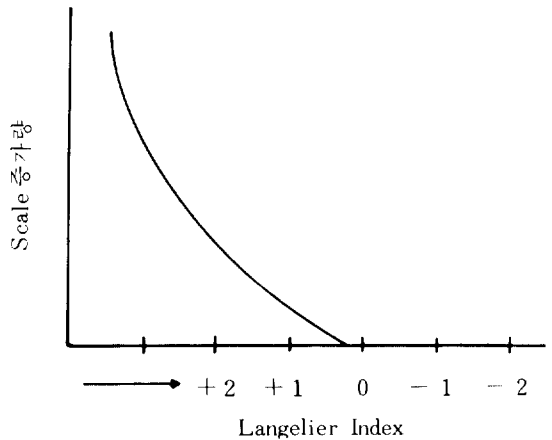
$$\frac{44,7000}{(2pH_s - pH)^{4.73}} \text{Uniting}$$

실제적으로 물의 거동률 검토하여 각각을 종합한 결과 $(2pH_s - pH)$ 로 종결되며, pH_s 와 pH 의 결과로서 Calcium Carbonate의 침적(Deposite)이 Langelier factor(Index)보다도 pH_s 가 보다 중요한 factor임을 주장하고 아래와 같은 식으로서 결과를 합리적으로 판단할 수 있다.

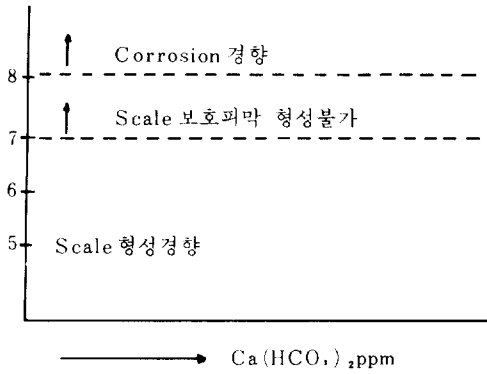
Scale증가량과 Ryzer Index



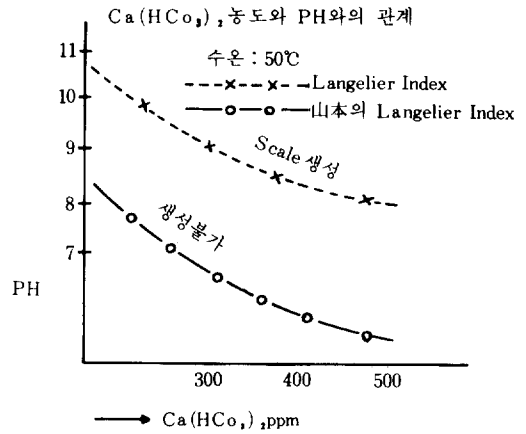
Scale증가량과 Langelier Index



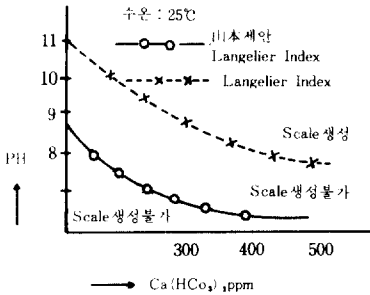
Langelier가 제안한 pHs를 이용한
Stability Index와 $Ca(HCO_3)_2$ 관계



50°C에 있어서



25°C에 있어서
 $Ca(HCO_3)_2$ 농도와
pH와의 관계



$$S = 2(pH_s) - pH$$

- 1) $S < 6.0$ Scale 형성 경향
- 2) $S = 6.0$ 化学的 평형상태 유지
- 3) $S > 7.0$ Scale 保護膜 成長 不可
- 4) $S > 8.0$ Corrosion 경향

3. 각 지수에 대한 문제점

3-1 Langelier Index의 문제점

Langelier Index에 대한 Ryzner의 지적사항은 다음과 같은 2종의 조건인 물을 생각할때

- 1) 수온 75°C, $pH_s = 6.0$, $pH = 6.5$
- 2) 수온 75°C, $pH_s = 10.0$, $pH = 10.5$

上記조건에 대한 Langelier Index 즉 Saturation Index는 1)과 2) 모두 $I_s = +0.5$ 를 나타내고 있다. 즉 두 가지 조건 모두 Calcium Carbonate의 Scale 경향을 나타내고 있으나, 실제적인 실험결과에 의하면,

1) 조건은 Scale성, 2)의 조건은 Corrosion 경향을 나타내고 있다.

pH_s 가 6.0인 물에는 Calcium Ion과 Total Alkali 량은 많이 함유되어 있으나, 실제로 $pH_s = 10.0$ 인 물에

는 소량 함유되어 있는 실정이므로 $(pH - pH_s)$ 식으로서 Calcium Carbonate 석출량을 추정할 수 없다는 점과 먼저 Langelier Index를 계산한후 Scale 생성 여부에 관한 山本氏의 Calcium Carbonate Scale 생성 실험 결과에 의하면 I_s 는 Calcium Carbonate 석출 범위와 관계 없이 Scale이 석출되는바 Langelier의 계산방법에 문제가 있음을 입증하였다.

따라서 Langelier Index는 장시간 후에 성립되는 석출평형을 말한 것이므로 실제 냉각수계와 같이 한정된 체류시간을 갖는 System에서는 실제와 부합되지 않는 경우가 많다는 결론을 얻었다.

3-2 Ryzner Index의 문제점

Langelier는 Ryzner의 실험식인 $\left[\frac{14,700}{(2pH_s - pH)^4} \right]$ 에 대하여 실험시간이 평형에 도달할때 까지의 시간에

충분하지 않고, 한정된 시간내에서 행한 실험인 동시에 실험시 pH와 수온을 측정하지 않고 단지 Larson과 Buswell의 추정치를 이용하였으므로 pHs의 정도가 문제가 되는 동시에 pHs의 적은 값만 나타내며 부식성만을 확인할 수 있기 때문에 두가지 모두 판단할 수 없다고 지적하였다.

3-3 Langelier Index와 Ryzner Index와의 관계

Langelier Index는 水中의 Calcium Carbonate의 용존과 석출에 관한 화학적 평형상태를 기초로, 이론적으로 해석, 검토된 결과로서, 물의 Scale性和 부식성을 판단할 수 있는 동시에 Ryzner Index Langelier Index보다도 pHs가 물의 Scale性を 나타내는 것이 합리적으로 생각하고 실험결과로 실제 장치에 있어서 제치있게 설명할 수 있도록 제안된 것이다.

Ryzner의 실험결과는 Langelier Index에서나 Ryzner Index에서 정성적으로 설명되고 있기 때문에 우열을 판단하기 어렵다. 그러나 Ryzner 실험은 주로 산성측의 실험조건이 많아 부식성을 판단하는 것은 오히려 이론적으로 해석한 Langelier Index가 적당하다.

3-4 山本大輔氏의 지적

山本氏는 금속면에 있어서의 Calcium Carbonate析出(擲動)에 대하여 여러가지 시험을 행한 결과에 의하면 실제적으로 CaCO₃의 석출유무를 판정하는 데에는 Langelier의 pKs'이 문제가 된다는 것이 입증되었으나, Langelier Index는 오히려 극히 장시간후에 성립하는 석출평형을 말하는 것이기 때문에 냉각계와 같이 한정된 체류시간을 유지하는 System에서는 실험과 부합되지 않는 경우가 있다고 보고한바 있다.

4. 柏原正純의 pH관리 제안(결론)

이상과 같은 내용을 종합 정리하면

가. Langelier가 제안한 pHs를 이용하여 산출한 Ryzner Index는 Ryzner의 실험결과를 물론이지니와 山本氏의 실험결과를 설명할 수 있다.

이러한 현상은 한정된 시간과 System에서, 즉 실제적으로 냉각계에 있어서 Scale性, 부식성 특히 Scale性を 판단하는 지표로 사용하여 얻어진 것으로 생각한다.

나. 그러나 Langelier가 제안한 pHs를 이용하여 산출한 Langelier Index는 Ryzner의 실험결과를 설명할 수 있으나, 山本氏의 실험결과는 설명할 수 없다. 山本

氏의 실험결과를 설명하기 위해서는 Langelier가 제안한 pHs로서 Is의 판정기준을 Scale side(+)로 할 필요가 있다.

따라서 Powell氏가 Langelier Index를 Scale side(+)로 할때 제안한 방식피막이 형성된다고 생각하여 제안한 $+0.6 < Is < +1.0$ 이 안정한 범위이며 비교적 실제로 적용할 수 있다고 주장하였다.

실제적으로 냉각계에서는 Calcium Carbonate가 水中의 Ion과 어느정도 시간에서 평형으로 되는가는 명확하지 않고, 전열면의 경막내에서의 열이동 상황이 뚜렷하지 않으며, 전열면에 있어서 침적물등이 Calcium Carbonate의 생성에 어떻게 관여되는지도 명확하지 않은등 각각 一長一短이 있으므로 두 사람이 제안한 안정한 범위를 동시에 만족시킬 수 있는 pH가 존재한다면 가장 이상적이라 생각하고 柏原氏는 모든조건을 만족시킬 수 있는 pH가 존재할 수 있는지의 여부를 검토하였다.

柏原氏는 모든 조건을 만족시킬 수 있는 pH를 pH₀로 표기하고 pH 관리목표로 하였다. Langelier와 Powell의 계수와 모든 조건은

$$\text{Langelier Index} : Is = \text{pHc} - \text{pHs}$$

$$\text{Ryzner Index} : S = 2\text{pHs} - \text{pHc}$$

$$\text{powell Index} : 0.6 < Is < 1.0 \quad (1)$$

$$\text{Ryzner Index} : 6.0 < S < 8.0 \quad (2)$$

이와같은 조건을 종합 정리하면

$$(1) \text{식은 } 0.6 - \text{pHs} < \text{pHc} < 1.0 + \text{pHs} \dots\dots\dots (3)$$

$$(2) \text{식은 } 2\text{pHs} - 8.0 < \text{pHc} < 2\text{pHs} - 6.0 \quad (4) \text{로 되며 } (3) \text{식과 } (4) \text{식에 있어서 각변의 차를 구하면 } * (1.0 + \text{pHs}) -$$

$$- 2\text{pHs} - 6.0 = 7.0 - \text{pHs} \dots\dots\dots (5)$$

$$* (0.6 + \text{pHs}) - 2\text{pHs} - 8.0 = 8.6 - \text{pHs} \dots\dots\dots (6)$$

가. $\text{pHs} \leq 7$ 일 경우 : (5)식과 (6)식은 Plus로 되므로

$$(1.0 + \text{pHs}) \geq (2\text{pHs} - 6.0) \dots\dots\dots (7)$$

$$(0.6 + \text{pHs}) > (2\text{pHs} - 8.0) \dots\dots\dots (8)$$

로 되며 (3)식과 (4)식의 공통범위는

$$0.6 + \text{pHs} < \text{pHc} < 2\text{pHs} - 6.0 \dots\dots\dots (9)$$

(9)식의 우변에서 좌변을 빼면 plus로 되어야 하므로

$$(2\text{pHs} - 6.0) - (0.6 + \text{pHs}) \geq 0$$

$$2\text{pHs} - 6.0 - 0.6 - \text{pHs} \geq 0 \therefore \text{pHs} \geq 6.6$$

따라서 $6.6 \leq \text{pHs} \leq 7.0$ 일때 모든 조건을 만족시키는

pHc가 존재하므로 (9)식으로 표시된다.

나. $7.0 < \text{pHs} \leq 8.6$ 일때 : (7)식은 負, (8)식은 正으로

되므로 (3)식과 (4)식의 공통범위는 $6.0 + \text{pHs} < \text{pHc} <$

$1.0 + \text{pHs}$

$(0.6 + pH_s) > 2pH_s - 8.0$ 식에 있어서 우변은 좌변보다 큰 값을 갖기 때문에 $7.0 < pH_s < 8.6$ 전역에서 pHc 가 존재한다.

다. $pH_s > 8.6$ 일때 : (7)식과 (8)식은 負로 되기 때문에 (3)식과 (4)식의 공통 범위는 $2pH_s - 8 < pHc < 1.0 + pH_s$ 이 식에서 우변은 좌변보다 큰 값을 갖지 않으면 pHc가 존재하지 않으므로 $1.0 + pH_s \geq 2pH_s - 8.0$ ∴ $pH_s \leq 9.0$ 다시 말해서 $8.6 < pH_s \leq 9.0$ 일때 제반 조건에 만족할 수 있는 pHc가 존재한다.

이상을 정리하면,

가. $pH_s < 6.6$ 일때 : pHc는 존재하지 않는다.

나. $6.6 \leq pH_s < 7.0$ 일때 : $0.6 + pH_s < pHc < 2pH_s - 6.0$

다. $7.0 < pH_s \leq 8.6$ 일때 : $0.6pH_s < pHc < 1.0 + pH_s$

라. $8.6 < pH_s \leq 9.0$ 일때 : $2pH_s + 8.0 < pHc < 1.0 + pH_s$

마. $pH_s > 9.0$ 일때 : pHc 존재불가

결론적으로 $6.6 < pH_s < 9.0$ 의 값을 갖일때 柏原氏가

제안한 모든 조건에 적합한 pH관리 목표 범위가 존재한다.

참 고 문 헌

- 1) Dr. J. Tillmans and O. Heublein(1912) : Gesundheits Ingerieru, 35 Jahrg Nr. 34. p. 669
- 2) W. F. Langelier(1936) : J. A. W. A, Vol. 25, No. 10. p. 1500
- 3) Charless P. Hoover(1938) : J. A. W. W. A Vol. 30, No. 11. p. 1802
- 4) Sheppard T. Powell, H. E. Bacon and J. P. Lill (1945) : I. E. C. Vol. 37. No. 9. p. 848
- 5) 工業用水便覽 (1958) : p. 607 工業用水 協會發行
- 6) 工業廢水便覽 (1964) : 用水廢水便覽編集委員會編
- 7) 柏原·岩田·津出 : 工業用水 No. 205. p. 31 (1975)