



## 국내 수도물의 부식성 특성 및 개선방안

### Characteristics and Improvement of Tap Water Corrosivity in Korea

김진근<sup>1\*</sup> · 김영관<sup>2</sup>

Jinkeun Kim<sup>1\*</sup> · Yeong-Kwan Kim<sup>2</sup>

1 제주대학교 환경공학과, 2 강원대학교 환경공학과

(2011년 5월 3일 접수 ; 2011년 10월 10일 수정 , 2011년 10월 13일 채택)

#### Abstract

To investigate corrosivity characteristics of tap water in Korea, Langelier index (LI) of 30 multi-regional water treatment plants (WTPs) were evaluated. Weekly LI values of 30 WTPs were all negative, which means tap water in Korea might be very corrosive. Maximum LI decrease through water treatment processes was 0.95 under no additional corrosion control process. Based on the correlation results between LI and tap water qualities, pH and calcium concentration were confirmed as major parameters for LI control. Addition of calcium hydroxide with CO<sub>2</sub> or calcium hydroxide or sodium hydroxide can be chosen based on water quality. Continuous monitoring of LI and related parameters is recommended in water distribution system.

**Key words** : Langelier index, internal corrosion, corrosion control, tap water, water treatment, water quality monitoring

**주제어** : 랑게리아 지수, 내부부식, 부식제어, 수도물, 정수처리, 수질모니터링

#### 1. 서 론

최근 수도권 지역에 막여과, 고도정수처리 공정이 도입되는 등 국내 정수처리 기술은 괄목할만한 성장을 이루고 있다. 국내 대부분의 정수장에서 생산되는 수도물의 탁도는 0.3 NTU 이하를 상시 유지하여 미생물학적 관점에서 수도물의 안전성은 선진국 수준으로 평가된다(김 등, 2010). 정수장에서 바로 생산된 수도물 수질 및 정수장 운영관리 능력은 10년 전과 비교하면 확연하게 개선되었으나, 고객이 체감하는 수도꼭지 수도물에 대한 신뢰도와 음용률은 선진국에 비해 여전히 낮은 수준이다(환경부, 2011).

정수장에서 아무리 최신 정수처리 기술을 도입하고 운영

관리 능력을 향상시켜 고품질의 수도물을 생산하여도, 노후 또는 오염된 수도관을 통해 공급하면 수도물 품질저하는 피할 수 없는 일이다. 정수장의 처리수 수질이 선진국과 유사한 수준에 도달한 현 시점에서, 수도물에 대한 고객 신뢰도 향상을 위해 공급과정 전반에 대한 수도물 품질관리 개선이 절실하다. 환경부 조사자료에 의하면 수도물 불신에 가장 큰 영향을 주는 것은 막연한 불안감이며, 이어서 수도관 부식과 관련된 녹물발생과 이물질이 큰 비중을 차지하고 있다(환경부, 2011). 따라서, 수도물 신뢰도 향상을 위해 현 시점에 가장 중요한 일 중의 하나는 녹물발생을 최소화하는 것이다.

정수장에서 생산된 수도물은 공급과정에서 크게 두 가지

\* Corresponding author Tel:+82-64-754-3448, Fax:+82-64-725-2483, E-mail: kjinkeun@jejunu.ac.kr(Kim, J.K.)

부분에서 수질변화가 발생할 수 있다. 첫째 소독부산물의 증가이다. 소독부산물은 잔류염소와 전구물질간의 지속적인 접촉을 통해 농도가 증가하는 특성이 있다. 다음으로 적수(녹물), 흑수 등을 포함한 탁수 발생이 있다. 흑수는 미처리된 망간에 기인하므로 정수처리공정에서 망간제거율을 높임으로써 적절한 대응이 가능하다. 그러나, 녹물의 경우는 정수장에서 미처리된 특정 물질보다는 공급관로의 내부 부식(internal corrosion)에 기인하는 경우가 대부분이다. 관의 종류 및 재질, 관내 유속, 수온 등과 같은 물리적 인자들과 pH, 알칼리도, 총용존고형물(TDS, Total Dissolved Solids), 경도, 용존산소, 잔류염소, 황산이온 및 완충강도(buffer intensity) 등과 같은 화학적 인자 및 생물학적 요소가 수도관 내부부식에 영향을 줄 수 있다(Sarin et al., 2001, AWWA, 1996). 수질인자 중에서 pH, 알칼리도, 경도는 낮을수록, 용존산소, 잔류염소, TDS, 염소이온, 황산이온은 높을수록 일반적으로 부식성이 증가한다.

상수도 관내 내부부식은 수질특성과 관 중에 따라 복잡하고 다른 양상을 나타낼 수 있다. 일반적으로 내부부식 방지를 위해서 크게 세 가지 방법을 적용할 수 있다. (1) 부식된 관을 비부식 관으로 교체 (2) 부식된 관을 세정, 라이닝 등의 방법을 통해 개선 (3) 부식억제제(inhibitor)를 주입하거나 정수처리공정 중 수도물의 수질을 조정하여 부식성이 낮은 상태로 전환하는 방법이 있다(AWWA, 1986). 이 중 (1), (2) 방법의 경우 근본적인 해결책이 될 수는 있으나, 막대한 예산이 투입되고 장시간이 소요되어 실행이 어려울 수 있으나, (3)번의 경우 적은 예산으로 단기간에 실시할 수 있는 장점이 있다. 또한 노후관의 교체 또는 갱생은 주로 수도계량기 이전에 해당되며 계량기 이후의 옥내배관은 여

전히 녹물이 발생할 수 있으므로 관 교체 및 갱생과 무관하게 수도물의 부식성을 개선하는 일은 반드시 필요하다.

물의 부식성을 간접적으로 평가하는 지수로는 Langelier Saturation Index(LSI 또는 LI), Ryznar Index(RI), LR(Larson's Ratio), Aggressiveness Index(AI), Calcium Carbonate Precipitation Potential(CCPP) DFI(Driving Force Index), KWI(Korea Water Index) 등 다양하게 개발되어 있다. 이러한 지수는 대개 탄산칼슘 침전원리 또는 염소이온이나 황산이온의 농도에 근거하고 있으며, 이 중 LI가 일반적으로 널리 사용되고 있다(김 등, 2011; Schock, 1999; AWWA, 1986).

LI와 부식성간에는 일정한 상관관계가 있으며, 일반적으로 LI가 0보다 작을 경우 수도물은 부식성을 나타낸다(Kawamura, 2000). 일본은 국가 수질관리 목표항목에서 LI를 -1~0 범위로 유지할 것을 명시하고 있으며, 미국은 National Secondary Drinking Water Contaminant Regulations에서 부식성(corrosivity)의 기준을 noncorrosive로 규정하고 있다. 실제 동경도에 수도물을 공급하는 아사카(朝霞) 정수장의 2010년 LI는 -0.7~ -1.0, pH는 7.5 정도로 관리되고 있다(동경도, 2011; EPA, 2011). Table 1은 수도물 부식성 관련 주요국가의 수질기준 및 가이드라인을 나타내고 있다(김 등, 2011; K-water, 2009).

국내에는 수도물 부식성에 관한 별도의 수질기준 또는 가이드라인은 없으며, 국가 차원에서 수도물 부식성과 관련하여 전국적인 모니터링도 시행하고 있지 않다. 특히, 국내 먹는 물 수질기준에서 수도물 부식성에 가장 큰 영향을 주는 pH의 하한값은 5.8로 선진국에 비해 낮은 편이며, 국내에서 상수원으로 사용하는 대부분의 지표수는 알칼리도 및

Table 1. 주요 국가의 부식성 관련 기준 및 가이드라인

항목	한국	WHO	미국	일본	캐나다	호주	독일	프랑스
pH	5.8~8.5	-	6.5~8.5	5.8~8.6	6.5~8.5	6.5~8.5	6.5~9.5	6.5~9.0
Corrosivity	-	-	noncorrosive	LI : -1.0~0	-	-	-	-
Total hardness	300	-	-	300	-	-	-	-
Aluminum	0.2	-	0.05~0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
Cadmium	0.005	0.003	0.005	0.01	0.005	0.002	0.005	0.005
Chromium	0.05	0.05	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Chloride	250	-	250	200	250	250	250	250
Copper	1	2	1.3	1	1.0	2, 1	2	2, 1
Iron	0.3	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
Manganese	0.05	0.4	0.05	0.05	0.05	0.5, 0.1	0.05	0.05
Lead	0.01	0.01	0.015	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sulfate	200	-	250	-	500	500	240	250
Zinc	3	-	5	1	5	3	-	-

pH가 낮아 수돗물의 부식성이 높은 편이다(김 등, 2011).

본 논문에서는 국내 광역상수도 정수장을 대상으로 수돗물에서의 부식성 정도를 LI를 이용하고 평가하였다. 또한, 개별 수질인자와 LI의 관계 등을 분석하고, 부식성 개선을 위한 정수처리 공정 구성안 및 개선방안을 제시하여 향후 국내 수돗물 부식성 개선 사업 수립계획에 기여하고자 하였다.

## 2. 실험대상 및 방법

### 2.1 연구대상

국내 수돗물의 약 절반정도를 생산공급하는 K-water에서 운영관리하고 있는 전국의 30개 광역상수도 정수장의 운영자료를 대상으로 수돗물의 부식성을 랭게리아지수를 활용하여 평가하였다.

조사대상 정수장의 위치는 Fig. 1에 나타내었으며, 본 연구에서는 정수장에서 생산되는 정수(정수지 기준)를 대상으로 LI 현황, 개별 수질인자와 수돗물 LI와의 상관관계 및 정수처리 공정에서의 LI 변화도 등을 분석하였다. 조사대상 기간은 2009년 1년간 이었다.

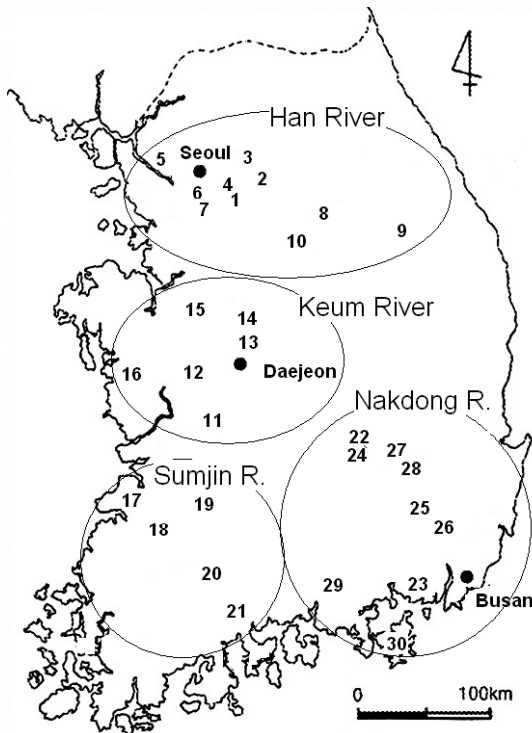


Figure 1. 수계별 정수장 위치도(Table 2의 정수장 기호를 순서대로 일련번호로 표시함)

### 2.2 수질분석

LI 계산을 위한 수질분석을 위하여 수온 및 pH는 정수장에서 수질자동측정기로 연속 측정된 일평균값을 사용하였다. TDS는 Standard Methods(21판) 2540 C의 방법을 따랐으며, 알칼리도 및 칼슘농도는 수질오염시험법에 근거하여 분석하였다. Table 2는 조사대상 정수장의 정수를 대상으로 LI 계산에 영향을 미치는 5개 수질항목(pH, 수온, 알칼리도, TDS, 칼슘경도)의 연평균값과 표준편차를 나타낸다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 수돗물의 LI 특성

광역상수도 상수원의 경우 일부 시기에는 LI가 양의 값을 가지어 부식성이 없는 경우도 있으나 정수의 LI는 항상 음의 값을 가져 부식성이 높은 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 정수처리 과정에서 산성인 응집제, 액화염소를 주입하여 발생하는 결과로 생각된다. Fig. 2는 정수장별 수돗물의 LI 경향을 나타내고 있다. 한강 수계 정수장(A~G)의 경우 LI는 평균  $-1.44$ , 최대  $-0.65$ , 최소  $-2.29$ 로 나타났다. LI가  $-1.0$  미만일 경우 강부식성 수질로서 내부부식 가능성이 매우 높은 것으로 평가될 수 있다(Kawamura, 2000). 한편, 금강 수계에서 생산되는 수돗물(L~O)의 LI는 한강 수계와 비슷한 수준으로 평가된다. 금강 수계 원수의 부식성은 한강 수계보다 높으나 정수처리 과정에서 부식성 수질제어를 통해 생산된 수질은 한강 수계와 비슷한 수준으로 개선되었는데, 이는 정수처리 과정에서 알칼리제 주입을 통해 수돗물의 LI를 향상시킨 결과이다.

한편, 남한강 수계인 충주호 직하류에서 취수하는 I 정수장의 경우 부식성이 가장 낮은 것으로 조사되었는데 이는 집수구역 내에 발달한 석회암층의 영향인 것으로 평가된다. 낙동강 본류에서 취수하는 V, W, X 정수장의 경우에도 다른 정수장에 비해 상대적으로 LI값이 양호한 것으로 평가되었다. 한편 부안호, 밀양호, 동화호, 주암호에서 취수하는 정수장의 경우에는 수돗물의 평균 LI가  $-2.0$ 을 하회하는 것으로 조사되어 강부식성으로 평가된다.

Table 3은 광역상수도 정수장을 대상으로 원수 및 정수의 LI 현황 및 수돗물 부식성 개선을 위한 적용공정을 표시하고 있다. 한강 수계의 경우 부식성 조절을 위해 별도의 알칼리제는 주입하고 있지 않다. 이 경우 정수처리 공정을 통해 LI는 원수 대비 평균  $0.79(0.62\sim 0.92)$  감소하는 것으로 조사되었다. 한강 수계의 경우 조류 발생으로 인해 원수의 pH가 8.5를 상회할 경우 pH 저감을 위해 액화탄산을 착수정에 주입하는 실정을 감안 할 경우 원수 pH 조절을 하지

Table 2. 조사 대상 정수장 정수 수질현황

수원	정수장	Treated water quality (average ± standard deviation)					Capacity (m <sup>3</sup> /day)
		pH <sup>1)</sup>	Alkalinity <sup>1)</sup> (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> 2) (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	TDS <sup>2)</sup> (mg/L)	Temp. <sup>1)</sup> (°C)	
팔당호	A	7.34±0.22	39.81±6.12	52.79±3.41	103.85±18.86	15.08±7.80	711,000
한강	B	7.32±0.14	39.69±7.83	46.10±10.92	110.63±24.33	13.74±7.68	200,000
팔당호	C	7.35±0.12	45.93±7.94	40.40±5.59	113.13±28.49	14.29±8.00	215,000
	D	7.26±0.12	40.32±4.68	49.60±8.41	91.24±23.40	15.19±7.57	786,000
	E	7.38±0.24	35.12±6.21	44.81±2.97	87.56±8.75	14.24±7.81	250,000
	F	7.37±0.21	35.64±5.34	40.37±4.76	107.96±44.01	15.18±7.80	258,000
	G	7.27±0.17	35.67±5.48	41.26±5.84	108.76±44.41	14.92±7.62	190,000
광동호	H	7.57±0.22	69.30±9.13	52.00±12.62	149.06±25.84	11.05±6.75	70,000
충주호	I	7.38±0.27	67.17±9.36	95.15±15.09	137.94±29.16	13.21±5.30	250,000
횡성호	J	7.58±0.30	29.48±6.56	30.60±4.69	74.44±18.90	11.15±5.15	100,000
용담호	K	7.09±0.18	21.10±2.56	22.54±3.32	76.48±4.90	13.94±6.72	700,000
대청호	L <sup>3)</sup>	7.23±0.22	36.63±6.61	44.56±13.16	144.98±70.47	17.02±6.35	300,000
	M	7.36±0.20	34.79±4.77	38.40±2.62	98.04±11.51	16.12±6.81	250,000
	N	7.33±0.13	36.35±2.51	37.27±2.51	89.95±22.07	15.21±6.22	414,000
	O	7.27±0.18	33.88±6.61	44.04±1.67	96.12±4.69	17.06±5.12	350,000
보령호	P	7.08±0.20	21.06±2.73	39.81±2.34	88.87±10.74	13.73±6.89	285,000
부안호	Q	7.30±0.16	12.88±0.99	10.42±2.28	15.66±7.41	15.62±7.42	87,000
옥정호	R	7.18±0.09	26.74±4.30	36.51±3.09	91.48±5.04	14.39±7.24	90,000
동화호	S	7.20±0.25	18.20±3.19	23.11±2.52	63.14±20.80	17.33±4.24	52,000
주암호	T	6.88±0.18	17.75±3.47	18.35±4.41	19.12±18.42	15.51±6.82	100,000
주암호	U	7.04±0.11	21.23±3.05	19.13±3.06	58.90±11.42	14.18±5.87	45,000
낙동강	V	7.26±0.20	49.46±8.51	77.00±5.30	212.25±38.51	15.88±8.58	400,000
	W	7.14±0.21	51.38±10.66	72.31±13.66	288.33±75.92	16.40±8.32	120,000
	X	7.35±0.28	51.89±6.08	66.27±20.43	213.42±63.78	16.25±8.12	44,000
밀양호	Y	6.95±0.37	10.67±2.43	21.11±3.30	43.15±13.71	11.71±5.94	70,000
	Z	6.81±0.19	10.56±0.80	19.85±6.28	42.94±10.58	14.87±5.89	80,000
운문호	AA	6.93±0.30	15.44±1.58	24.57±1.65	56.02±11.56	14.23±6.31	10,000
	AB	6.87±0.26	14.23±2.20	24.41±2.23	56.70±10.38	14.37±6.52	40,000
진양호	AC	7.06±0.15	28.02±7.82	38.29±5.13	123.48±24.01	16.31±7.53	121,000
구천호	AD	6.84±0.15	10.99±1.49	17.73±3.57	50.76±9.84	15.70±6.61	20,000

- 1) 일일측정자료임
- 2) 주간측정자료임
- 3) 취수원을 금강 부여에서 대청호로 변경(2009.6)

않는 정수장의 경우 실제 감소폭은 이보다 작을 것으로 판단된다. 실제 원수에 대한 pH 조정이 없는 I 정수장의 경우 LI 변화값은 -0.45로 조사되었다. 한편 낙동강 하류에서 취수하는 W 정수장의 경우에도 정수처리 과정에서 부식성 지수가 0.95 감소하는 것으로 나타났다. W 정수장의 경우 원수 pH가 상승하는 시기에 응집효율 향상을 위하여 전염

소 또는 응집제 투입률을 증가시킨다. 한편, 정수처리 공정에서의 LI 감소 정도는 원수의 수질(pH, 알칼리도 등)과 수처리제(응집(보조)제, 소독제 등)의 투입률 등에 따라 차이가 발생할 수 있다.

원수의 LI값이 -2.0을 하회하는 정수장의 경우 정수처리 공정에서 오히려 LI가 증가하였는데 이는 개별 정수장에

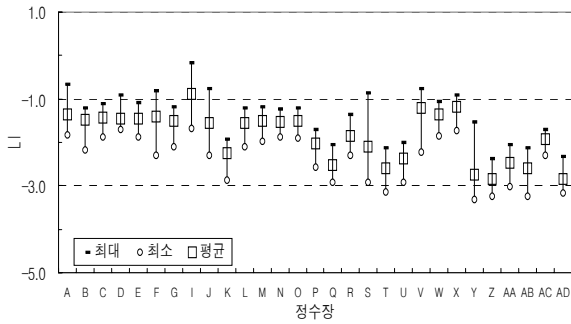


Figure 2. 수돗물의 LI 경향(2009년, H 정수장 제외)

서 수돗물 부식성 지수를 향상시키려는 적극적 노력의 결과이다. 특히 정수처리 공정에서 LI 증가 정도가 가장 높은 J 정수장은 소석회와 이산화탄소를 연속적으로 주입하고 있으며, 용담호에서 취수하는 K 정수장은 수산화나트륨을 여과지 후단에 주입하고 있다. Table 3에서 정수의 LI값이 원수보다 높은 경우는 모두 수돗물 부식성 관리를 위해 별도로 알칼리제를 주입한 경우이다. K-water에서는 수돗물의 LI 관리목표를 -1.5로 설정하고 2012년까지 전 정수장에서 이를 달성하기 위해 알칼리제 주입설비를 지속적으로 보완할 계획이다(K-water, 2010).

### 3.2 수질인자가 수돗물의 LI에 미치는 영향

Table 3. 조사 대상 정수장 2009년 원·정수의 LI 현황 및 부식성 개선방법

수원	정수장	LI(년평균)			부식성 개선방법(알칼리제 주입설비)	
		원수	정수	변화값	기존	개선
팔당호	A	-0.53	-1.38	-0.85	분말소석회	-
한강	B	-0.87	-1.49	-0.62	수산화나트륨	-
팔당호	C	-0.73	-1.43	-0.70	분말소석회	-
	D	-0.56	-1.44	-0.88	분말소석회	-
	E	-0.77	-1.44	-0.67	분말소석회	-
	F	-0.6	-1.52	-0.92	분말소석회	-
	G	-0.64	-1.56	-0.92	분말소석회	-
광동호	H		-1.03		-	-
충주호	I	-0.38	-0.83	-0.45	-	-
횡성호	J	-2.18	-1.29	0.89	분말소석회+이산화탄소	액상소석회 전환(10년)
용담호	K	-2.53	-1.70	0.83	수산화나트륨	기존설비보완(10년)
대청호	L	-1.26	-1.53	-0.27	수산화나트륨+분말소석회	-
	M	-1.26	-1.50	-0.24	수산화나트륨	-
	N	-1.53	-1.49	0.04	수산화나트륨	-
	O	-1.56	-1.48	0.08	수산화나트륨	-
보령호	P	-2.06	-2.08	-0.02	분말소석회	액상소석회 전환(11년)
부안호	Q	-2.67	-2.52	0.15	액상소석회+가성소다	액상소석회 전환(09년)
옥정호	R	-1.83	-1.85	-0.02	액상소석회	액상소석회 전환(10년)
동화호	S	-2.48	-2.11	0.37	액상소석회	액상소석회 전환(10년)
주암호	T	-2.39	-2.60	-0.21	분말소석회(10년기준)	액상소석회 전환(11년)
주암호	U	-2.56	-1.81	0.75	분말소석회	액상소석회 전환(11년)
낙동강	V	-0.69	-0.63	0.06	분말소석회	-
	W	-0.39	-1.34	-0.95	분말소석회	-
	X	-0.52	-1.13	-0.61	-	-
밀양호	Y	-3.12	-2.73	0.39	액상소석회	액상소석회 전환(10년)
	Z	-2.87	-2.87	0.00	액상소석회	액상소석회 전환(10년)
운문호	AA	-2.26	-2.31	-0.05	액상소석회	액상소석회 전환(10년)
	AB	-2.26	-2.35	-0.09	액상소석회	액상소석회 전환(10년)
진양호	AC	-1.94	-1.93	0.01	분말소석회	액상소석회 전환(11년)
구천호	AD	-2.73	-2.58	0.15	분말소석회	액상소석회 전환(11년)

Fig. 3은 정수처리 공정에서 pH 조절을 실시하지 않는 정수장(I)을 대상으로 정수에서 수질인자와 LI와의 상관관계를 나타낸다. 원수일 경우와 마찬가지로, pH가 LI를 결정하는 가장 중요한 인자로 평가된다. Table 4는 I 정수장에 대해 LI와 관련된 수질인자간의 상관관계를 나타낸다. LI에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 pH이며 상관계수는 0.93으로 나타났다. 다음으로 알칼리도, 칼슘경도, 수온의 영향이 큰 것으로 나타났다.

한편, 부식성 제어를 위해 알칼리제를 주입하는 S 정수장의 경우에는 상대적으로 LI와 pH의 상관계수가 낮은 것으로 나타났으며, 다른 인자들도 상관관계가 낮은 것으로 나타났다(Table 5 참조). 이는 I 정수장의 경우 일관되게 원수 수질과 연동하여 일정한 비율로 산성인 응집제 및 액화염소를 주입하지만 S 정수장의 경우 원수 수질변동에 따라 간헐적으로 알칼리제를 주입함에 따라 수질인자와 LI간의 상관관계가 상대적으로 낮은 것으로 평가된다. 그러나, 정도의 차이는 있지만 여전히 다른 수질인자에 비해 pH가 LI에 미치는 영향은 절대적인 것으로 평가된다.

### 3.3 정수처리 공정 중 pH 변화

정수처리공정에서 수처리제 주입, 액화염소처리 등은 모두 처리수의 알칼리도, pH를 감소시켜 결국에는 LI를 감소시키게 된다. 정수처리 공정에서의 수온, TDS, 칼슘경도는 거의 변화가 없으며, 알칼리도는 응집제 주입률에 따라 차이는 있으나 일반적으로 2~5 mg/L 정도 감소한다.

정수처리공정에서 부식성 제어를 위한 특별한 수처리공

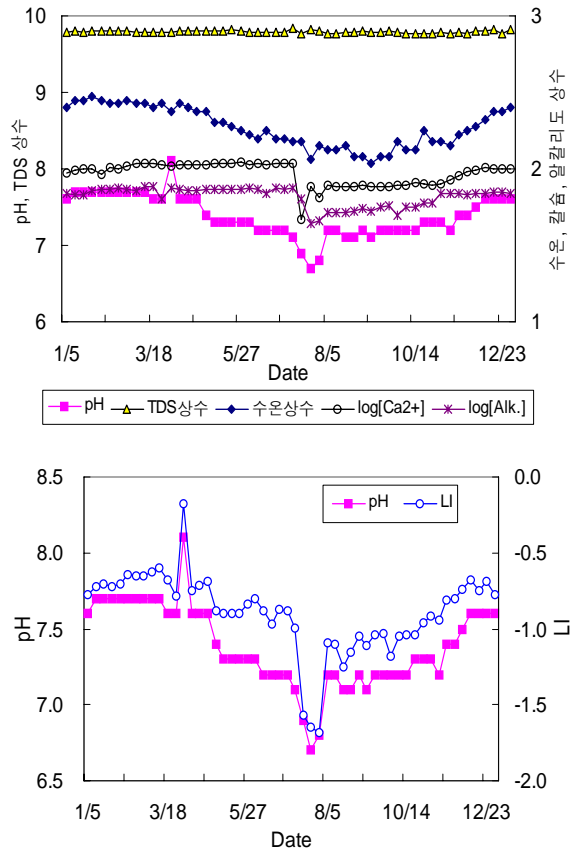


Figure 3. 정수 수질인자 및 LI의 변동 경향(2009년, I 정수장)

Table 4. 수질인자와 LI간의 상관성 분석 (I 정수장, pH 조정 없이 정수처리 실시)

구분	pH	수온상수	TDS 상수	log[Ca <sup>2+</sup> ]	log[Alk.]	LI
pH	1.00					
수온상수	0.87	1.00				
TDS상수	0.20	0.34	1.00			
log[Ca <sup>2+</sup> ]	0.62	0.64	0.48	1.00		
log[Alk.]	0.66	0.70	0.27	0.77	1.00	
LI	0.93	0.74	0.18	0.77	0.79	1.00

Table 5. 수질인자와 LI간의 상관성 분석 (S 정수장, pH 상승을 위한 간헐적 알칼리제 주입 실시)

구분	pH	수온상수	TDS 상수	log[Ca <sup>2+</sup> ]	log[Alk.]	LI
pH	1.00					
수온상수	0.12	1.00				
TDS상수	0.12	(0.14)	1.00			
log[Ca <sup>2+</sup> ]	0.11	0.17	(0.29)	1.00		
log[Alk.]	(0.08)	0.27	(0.26)	0.66	1.00	
LI	0.82	(0.29)	0.01	0.38	0.19	1.00

정을 추가하지 않을 경우, 응집제 및 액화염소 처리과정에서 정수의 부식성 지수는 원수보다 저해된다. 국내 정수장에서 사용하는 응집제는 대부분 산성이다. 한편 염소소독의 경우 차아염소산나트륨 용액이나 발생기를 사용할 경우에는 소독 후 처리수의 pH가 상승하지만 국내 대형 정수장의 경우 대부분 액화염소를 사용하여 처리수의 pH가 감소하게 된다. 일부 정수장의 경우 원수의 pH가 8.5를 상회할 경우에는 액화탄산을 주입하거나 응집제를 과량으로 주입하여 원수의 pH를 8.0 이하로 낮추기도 한다. Fig. 4는 원수와 정수의 pH 변화를 나타내고 있다. 상단의 정수장은 충주호에서 취수하는 정수장(I)의 경우로서 원수의 pH 범위가 7.3~8.5이며 연평균값은 7.8인 경우이다. 이 경우 수처리 과정에서 인위적인 pH 조정 없이 수처리제를 주입하여 정수처리한 경우이다. 중간의 그림은 팔당호에서 취수하는 정수장(C)의 경우이다. 원수의 pH가 높은 시기에 액화탄산을 이용하여 pH를 낮추는 경우(pH 감소)이며, 하단의 정수장(S)은 원수의 pH가 너무 낮아 알칼리제를 이용하여 pH를 상승(pH 증가)시키는 경우이다. 결국 정수처리공정에서의 부식성제어를 하지 않을 경우 모든 정수장에서 수돗물의 부식성을 더욱 강해지게 된다(즉, LI값이 더욱 음의 값으로 향한다). 한편, 정수처리과정에서 인위적인 pH의 조정이 없는 경우에는 원정수 pH간의 상관관계가 0.81로 매우 높게 나타났으나, 인위적인 감소와 증가가 있는 경우는 상관계수가 각각 0.59, -0.07로 다소 낮게 나타났다.

### 3.4 정수처리 공정에서 LI 제어방안

정수장에서 수질조정을 통해 수돗물의 부식성을 제어하는 방법으로는 부식억제제, 수산화나트륨, 소석회, 소석회+이산화탄소 병행 주입 등으로 구분할 수 있다. 국가별로 원수 수질 및 관 종 등에 따라 다양한 내부부식 제어 방법을 제안하고 있으나, 부식성 제어에서 공통적으로 가장 중요한 것은 pH 조정이다(AWWA, 1996).

실제 정수장에서 LI 제어를 위해서는 원수 수질특성에 적합한 공정을 구성할 수 있는데, 이는 해당 정수장의 원수 pH, 알칼리도를 주로 고려하여 결정할 수 있다. 특히 국내의 경우 부식성이 상대적으로 높은 상수원은 저 알칼리도-연수-저 pH의 특징을 갖고 있다. 이러한 경우는 기본적으로 완충능력(buffer capacity)를 증가시키고 칼슘이나 마그네슘과 같은 2가 양이온의 농도를 향상시키는 것이 바람직한 방법이다(AWWA, 1996)

Table 6은 수돗물의 목표 LI를 -1.5 이상으로 할 때 원수수질 특성을 고려한 수돗물 부식성 제어방안을 제시하고 있다(김 등, 2011; K-water, 2010). 결국 수돗물 부식성 제어는 알칼리제를 주입하여 물의 pH, 알칼리도, 칼슘경도

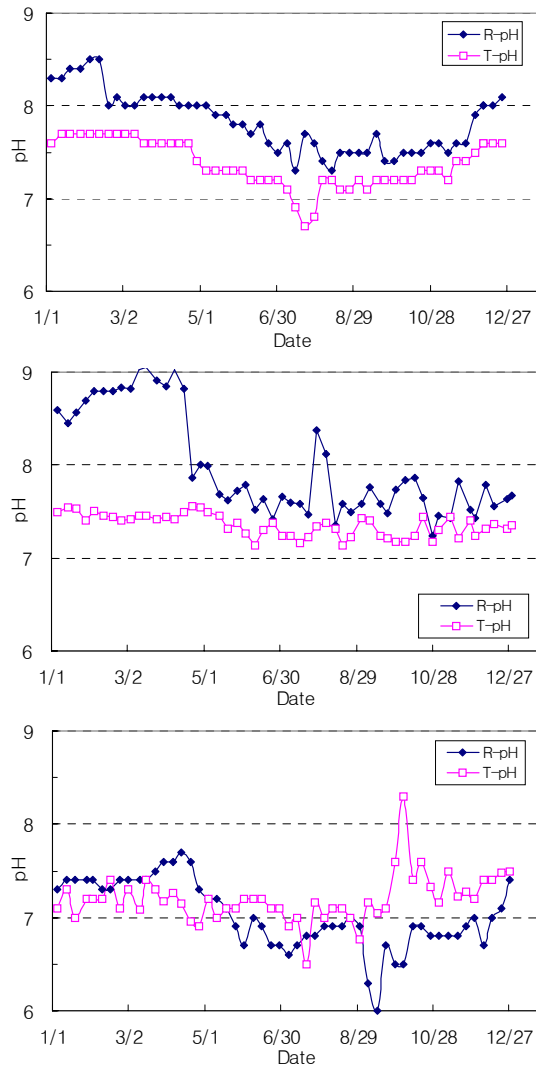


Figure 4. 원수와 정수의 pH 비교(2009년, I정수장(상), C정수장(중), S정수장(하))

(소석회 사용 시)를 증가시키는 공정이다. 한편, 수중에 칼슘이 적정농도로 존재할 경우 물맛을 좋게 하므로 수돗물 부식성 제어가 녹물 저감 및 물 맛 향상에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다(이 등, 2011).

정 등(2011)은 J 정수장을 대상으로 액상소석회와 이산화탄소를 여과지 후단에 주입하여 수돗물의 부식성을 개선하였다. 수돗물 부식성 제어설비의 목표 pH를 7.8, 소석회 주입률을 5~10 mg/L로 운영할 경우 LI를 약 29% 개선할 수 있었으며, 이 경우 실제 공급시스템에 설치한 시편실험을 통해 1년간 모니터링 결과, 부식도가 24% 지연되었다고 제시하여 수돗물 부식성 제어가 수도관 부식도 제어에 유용한 방안임을 보고하였다.

Table 6. 수돗물 LI -1.5 이상 달성을 위한 원수 수질별 수돗물 부식성 제어 공정(안)

구분	원수 pH <7.0			원수 pH ≥7.0		
	알칼리도(mg/L)			알칼리도(mg/L)		
	10 미만	10~20	20 이상	10 미만	10~20	20 이상
LI < -2.5	(액상)소석회+이산화탄소					
-2.5 ≤ LI < -2.0	(액상)소석회+ 이산화탄소	(액상)소석회 +이산화탄소	알칼리제	(액상)소석회+ 이산화탄소	알칼리제 +(이산화탄소)	알칼리제
-2.0 ≤ LI < -1.5	알칼리제					

J 정수장에서는 칼슘농도가 상시 10 mg/L 이상으로 유지되고 있는데, 이 경우 pH 조정만으로도 LI를 개선할 수 있다. 이 경우 알칼리제로 소석회와 수산화나트륨을 사용할 수 있는데, 과량의 분체 소석회를 주입할 경우에는 정수장 공정관리 뿐만 아니라 약품저장 등 부대비용이 증가하므로 주입량을 무한정 올리는 것이 쉽지 않다. 따라서 실제 정수장에서 수돗물 부식성 제어 설비를 운영할 경우에는 원수의 pH, 알칼리도, 경도 등을 종합적으로 고려하여야 한다. Fig. 5는 J 정수장 수질을 대상으로 칼슘농도와 pH의 변화에 따른 LI값을 나타내고 있다. 이러한 계산을 통해 개별 정수장에서 수질특성에 적합한 부식성 제어 방안을 수립할 수 있다.

수돗물 부식성 제어를 위하여 알칼리제를 과량 주입할 경우 소석회 미립자 농도 및 처리수의 pH가 증가됨에 따라 공급과정 중에 탁도 및 소독부산물 농도가 증가할 수 있으므로, 지속적인 모니터링이 필요하다. 또한 부식성 제어의 효과를 분석하고 이를 다시 정수처리 공정에 환류하기 위해서도 주기적으로 공급과정별로 수질을 모니터링 하여야 한다.

한편, 원수의 pH가 낮아 부식성이 높은 정수장에서는 염소소독방법을 pH 저하가 많은 액화염소에서 pH가 증가되는 차아염소산나트륨으로 전환하는 방안도 적극적으로 검토할 필요가 있다. 또한 국가적 차원에서는 LI를 먹는물 감시항목에 포함시켜 주기적으로 모니터링을 실시하고 모니터링 결과에 근거하여 수돗물 부식성에 대한 관리대책 수립이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

국내 광역상수도 30개 정수장의 수돗물을 대상으로 LI(Langelier Index)를 활용하여 부식성을 조사하고, 정수처리 공정에서의 개선방안 등을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 광역상수도 정수장에서 생산된 수돗물의 LI를 매주 측정

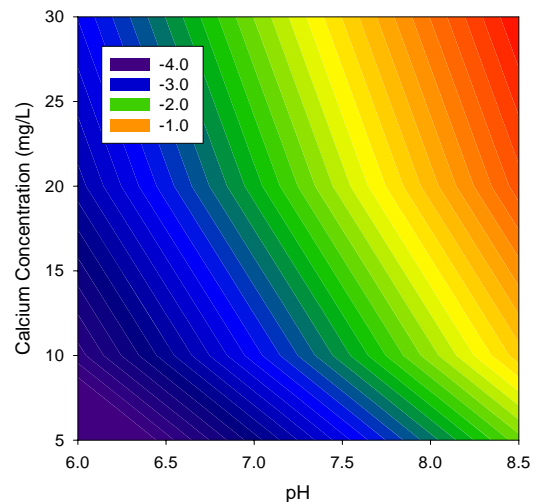


Figure 5. 칼슘농도 및 pH와 LI 관계(20°C, TDS 60 mg/L)

한 결과값은 모두 음의 값을 갖는 것으로 조사되어 부식성이 있는 것으로 판단된다. 또한 정수처리 과정에서 별도의 부식성 제어를 실시하지 않는 경우, LI는 최대 0.95 감소하는 것으로 조사되었다.

2. 수질인자들과 LI와의 상관성 분석결과 pH와 칼슘농도가 LI와의 상관성이 높은 것으로 조사되어 정수처리 공정에서는 LI 제어를 위하여 pH 및 칼슘농도 제어가 가장 중요한 것으로 조사되었다.
3. LI 개선을 위한 방법으로는 원수 수질에 따라 소석회+이산화탄소, 알칼리제 단독주입 등의 방법을 선택할 수 있으며, 공급과정에서 LI 변동에 따른 수질변화를 지속적으로 모니터링해야 한다.

#### 감사의 글

자료 작성에 많은 도움을 주신 한국수자원공사 정원석 차장, 김재원 과장과 관계자께 감사드립니다.



## 5. 참고문헌

- 김영관, 김진근 (2011) 음용수질의 안정성을 위한 부식지수제도의 도입, *상하수도학회지*, **25**(5), pp. 707-717
- 김진근, 이송희, 김재원 (2010) 급속여과공정에서 여과수질 저하 원인 및 개선방안, *상하수도학회지*, **24**(3), 333-339.
- 동경도 수도국 홈페이지 (2011) <http://www.waterworks.metro.tokyo.jp>
- 이승재, 이상은, 김종근, 박희경 (2011) 맛있는 물 지표 개발을 통한 국내 약수 평가, *상하수도학회지*, **25**(2) pp. 7-14.
- 정원석, 김진근, 박덕준, 김선욱, 정상기 (2011) 소석회와 이산화탄소를 이용한 수돗물 부식성 제어에 관한 연구, *상하수도학회지*, **25**(2) pp. 193-199.
- 환경부 (2010) 상수도시설기준.
- 환경부 (2011) 먹는물 수질관리 지침.
- AWWA (1986) *Corrosion control for operators*.
- AWWARF and VGW-TZW (1996) Internal corrosion of water distribution systems, AWWARF.
- EPA homepage (2011) <http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm>
- Mays, L.W (2000) *Water Distribution Handbook*. Mc-Graw Hill, New York.
- Kawamura, S. (2000) *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- K-water (2010) 정수처리시설 종합개선계획 보완.
- K-water (2009) 250항목 물질특성 정보.
- Sarin, P. Snoeyink, V.L., Bebee, J., Kriven, W.M., and Clement, J.A. (2001) Physico-chemical characteristics of corrosion scales in old iron pipes, *Wat. Res.*, **35**(12) pp. 2961-2969.
- Schock, M.R. (1999) Internal corrosion and deposition control in *Water Quality and Control* 5th Ed. Mc-Graw Hill, New York.