

삼중수소 측정에 의한 약수터 물의 수질특성 연구

金鍾勳* · 崔錦旭 · 鄭澤均

全州大學校 理工大學 化學 · 新素材學科

(1996. 2. 15 접수)

Determination of Springwater Characteristics by Measurement of Tritium in Water

Jong-Hun Kim, Yong-Wook Choi, and Taek-Kyun Chung

Department of Chemistry-Advanced Materials, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea

(Received February 15, 1996)

요 약. 전주근교 약수터 15개 지점에 대하여 그들의 수질특성을 1993년 7월부터 1994년 5월까지 1년 동안에 걸쳐 물속의 삼중수소를 기준으로 삼중수소와 TDS, 삼중수소와 전도도, 삼중수소와 Cl^- , 그리고 삼중수소와 총경도의 관계로부터 평가하였다. 이들 약수터 물은 빗물과 유사한 단물, 유동기간이 짧으며 흙층을 통과한 센물, 유동기간이 길고 암반층을 유동한 약한센물, 유동기간이 길고 암반층을 유동한 단물의 특징적 그룹으로 나눌 수 있으며 대부분 빗물과 유사한 물로 해석되었다. Hashimoto의 Mineral Balance Index에 의하면, J-4용천수만 맛있고 건강한 물로 평가되었다.

ABSTRACT. The characteristics of water have been studied for 1 year by means of relationships between tritium and total dissolved solid(TDS), tritium and conductivity, tritium and chloride, and tritium and total hardness for 15 springs in the vicinity of Jeonju city of Korea. From the results of the study, the springs were divided into four characteristic groups, but the characteristics of most springwaters studied were similar to those of rainfall. Fifteen springwaters were evaluated to see if those are tasty and healthy using the Hashimoto's Mineral Balance Index. As a result, only one spring (J-4) was found as tasty and healthy.

서 론

전라북도 전주지역은 천혜의 지리적 여건으로 대부분 화강암 지층으로 구성되어 하천수 및 지하수의 수질이 양호하여 먹는물의 수질에 큰 관심을 두지 않았으나, 1970년대 후반부터 인구증가 및 도시집중으로 인한 다량의 생활하수 방류, 급속한 산업발전으로 인한 산업폐수의 방류로 식수에 관심을 두지 않을 수 없게 되었다.

현재 전주시민들은 금강유역의 물과 관촌, 상관 저수지물을 상수원으로 이용하고 있으나 상수원수의 오염과 정수시 염소소독으로 인한 냄새 때문에 수돗물을 직접 마시기를 꺼리는 실정이다. 따라서 많은 가정에서 보다 깨끗한 물, 맛있는 물을 마시기 위해

정수기를 사용하거나 근교의 약수터의 물을 식수로 사용하고 있다.

본 연구는 1993년 7월부터 1994년 5월까지 전주, 완주, 익산 지역의 15개 약수터에 대해 수질평가의 주요항목인 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , F^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , SiO_2 , pH, 전기전도도 등을 분석하였고 물속의 삼중수소의 양도 측정하였다.

수질 화학적 특성을 분류하는 방법은 Piper의 diagram에 의한 방법¹ 각각의 주요 양, 음이온의 성분 분석에 의한 방법² 등이 있으나 본 연구에서는 삼중수소와 TDS, 삼중수소와 전도도, 삼중수소와 염화이온 그리고 삼중수소와 경도의 상관관계로부터 해석하였다. 또한 Hashimoto의 Mineral Balance In-

dex³⁴을 이용하여 15개 약수터 물 중 맛있고 건강한 물을 결정하였다.

실 험

시료채취. 전주근교의 주요 약수터 중 전주시 9개, 완주군 1개, 익산 4개 총 15개로 비교적 이용객이 많은 지점의 약수터를 선정하였으며, 그 명칭과 위치는 Table 1, Fig. 1과 같다. 시료채취는 1993년 7월, 11월 1994년 5월까지 계절별로 채수하였으며, 채수

용기는 1 L PE용기 3개를 사용하였고 1개는 음이온 분석용, 1개는 삼중수소 분석용, 1개는 질산으로 처리하여 pH 3으로 유지하여 양이온 분석용으로 사용하였으며 이들 시료는 항상 냉장고에 보관하였다.

이화학적 분석. 모든 시약은 특급시약(일제 Junsei)을 사용하였으며, 알칼리, 알칼리토금속 원소의 분석은 Atomic Absorption Spectrophotometry(Hitachi Z6100)로, 음이온은 Ion Chromatography(Samsung SLC 300)로⁵ HCO₃⁻는 0.05 N H₂SO₄ 적정하고, SiO₂는 UV-Vis spectrometry로⁶ 하였다. 총경

Table 1. Springwater sampling sites

Sample no.	Location	Description	Depth(m)
J-1	Jeonju-si Hyoja-dong Samcheun Ssangyong Apt	Groundwater	130
J-2	Jeonju-si Seoseohack-dong Wansan Park	Springwater	0
J-3	Jeonju-si Seoseohack-dong Wansan Park (Buddhist temple)	Springwater	0
J-4	Jeonju-si Seoseohack-dong Jobeunmok	Springwater	0
J-5	Jeonju-si Duckjin-dong Jogyongdan	Well(springwater)	0
J-6	Jeonju-si Inhoo-dong Yacksooam	Well(springwater)	0
J-7	Jeonju-si Seowansan-dong Lotte Apt	Groundwater	108
J-8	Chounbuck Wanju-gun Manseung-ri Seogo Temple	Springwater	0
J-9	Chounbuck Icksan-si Mohyun-dong Baesan Park(I)	Springwater	0
J-10	Chounbuck Icksan-si Mohyun-dong Baesan Park(II)	Springwater	0
J-11	Chounbuck Icksan-si Gumma-myon Mireuk temple	Springwater	0
J-12	Chounbuck Icksan-si Whanggung-myon Wonbulgyo Public Cemetery	Springwater	0
J-13	Jeonju-si Hyoja-dong Jeonju University Buddhist temple	Springwater	0
J-14	Chounbuck Wanju-kun Kumsan temple	Springwater	0
J-15	Jeonju-si Samcheun-dong Eunha Apt	Groundwater	150

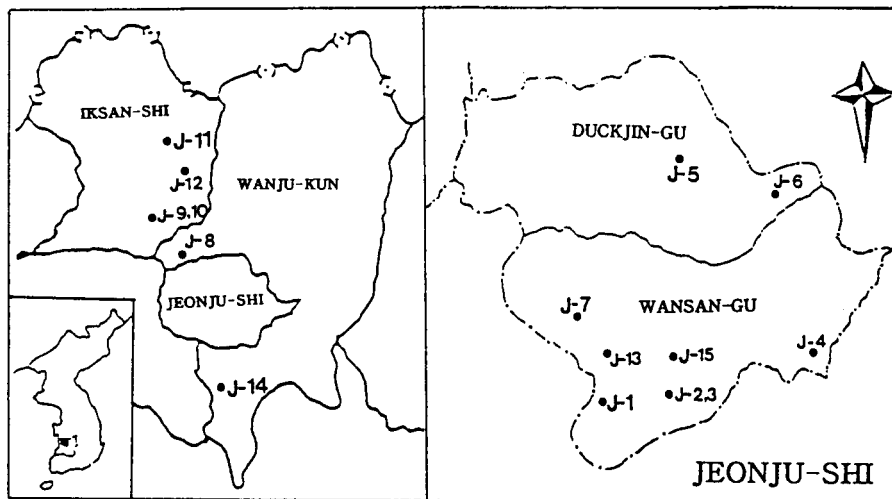


Fig. 1. Location of spring water in Jeonju area.

도는 칼슘과 마그네슘의 합으로, TDS는 양이온, 음이온 그리고 SiO_2 의 합으로 계산하였다.

삼중수소 측정. 증류수를 제외한 모든 삼중수소 분석시료는 증류하여 염을 제거하였다. 증류한 시료 600 g을 무게재어 취하여 전기분해에 의해 20 g이 남을 때까지 농축하였다. 이 때 필요한 시간은 약 210시간이었다. 그 중 10 mL를 측정용기에 취하고 Instagel 10 mL를 가하여 액체섬광계수로 20분씩 25회 측정하였다. 각각의 물 시료에 대한 삼중수소 함량은 TU(Tritium Unit; $1\text{TU}=3.24 \times 10^{-3} \text{pCi} \cdot \text{g}^{-1}$)로 계산하였다.⁷

결과 및 고찰

약수터 물의 수질특성. 강수(precipitation)는 소량의 용해물질과 현탁물질을 포함하며 그것의 양, 조성, 그리고 pH값은 시간과 장소에 따라 다르다. 강수에서 가장 중요한 성분으로 양이온은 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} 그리고 Mg^{2+} , 음이온은 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 그리고 HCO_3^- 이다. 이들 성분에 대한 전주지역 강수의 분석결과를 Table 2에, 주요 약수터 물중 양이온은 Table 3에, 음이온은 Table 4에 나타냈다.

약수터 물의 삼중수소 특성. 삼중수소의 반감기는 12.43년이며, 강수에 포함된 삼중수소는 두 가지 기원을 가지고 있다. 첫째 질소원자가 대기권에서 우주선(cosmic ray)과의 상호 반응에 의하여 생성되며, 생성율은 $0.25 \text{atoms/cm}^2/\text{s}$ 이다. 둘째로 인류의 핵실험으로 생성된다. 우주선에 의하여 자연적으로

생성되는 삼중수소의 양은 대개 5~20 TU 범위에 속한다. 1945년 이후 핵실험에 의해 북반구 강수 중의 삼중수소함량은 증가되었으나 1960년대 중반 이후부터 감소하고 있다.^{8,9}

1993~1994년 사이의 전주지역 강수중의 삼중수소 함량은 Table 5에, 15개 지점 주요 약수의 삼중수소함량은 Table 6에 나타냈다. Table 5, 6에 의하면 강수의 삼중수소 범위는 5.44~15.22 TU, 평균 7.71 TU를 나타내고, 약수의 범위는 평균 6.23~16.21 TU로 분포되어 있다.

삼중수소와 TDS. 일반적으로 가장 간단하게 수질특성을 결정하는 방법은 시료의 전기전도도값과 총고용분(Total Dissolved Solid)을 측정하는 것이다. 본 연구에서는 강수, 약수터 물의 TDS와 삼중수소의 관계, 전기전도도와 삼중수소관계로부터 약수터 물의 형태를 구분하고자 하였다. 강수의 평균 TDS값은 Table 2로부터 38.7 ppm이고 각 이온의 평균농도는 0.1~24.8 ppm 범위로 약수터 물에 비해 매우 낮은 값을 나타낸다. 약수터 물의 TDS는 Table 4으로부터 60~443 ppm까지 넓은 범위에 분포되어 있다. 삼중수소와 TDS의 관계를 Fig. 2에 나타냈다. Fig. 2를 보면 크게 4그룹으로 나눌 수 있다. 삼중수소와 TDS 농도가 강수와 비슷한 A그룹, 삼중수소의 농도는 비슷하나 TDS값이 매우 높은 B그룹, 삼중수소의 농도가 매우 높으며 TDS값이 중간정도인 C그룹, 삼중수소 농도가 높으며 TDS값이 낮은 D그룹으로 나눌 수 있다. 일반적으로 강수가 침투하여 지하에

Table 2. Chemical analysis data of the precipitation in Jeonju area (Unit: mg/L)

Sampling time	pH	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS
93.7	6.1	0.2	0.8	0.1	0.1	ND ^a	0.2	0.5	0.3	26.4	8.8	28.8
8	4.9	0.4	0.8	0.1	0.4	ND	0.2	0.9	1.8	6.1	12.0	10.9
9	4.8	0.7	0.4	0.2	1.0	ND	0.5	1.1	2.5	6.1	19.3	12.8
10	4.8	1.9	0.5	0.4	1.3	ND	10.4	1.1	4.5	6.1	42.6	26.5
11, 12	4.4	2.8	0.7	0.6	1.2	0.1	4.3	1.5	4.8	3.1	47.5	19.3
94.1	4.8	2.6	1.0	0.6	1.9	0.1	3.1	3.3	5.9	4.3	51.0	23.2
2	5.4	2.3	1.7	0.4	0.6	0.2	45.1	4.6	17.0	12.2	39.6	84.3
3	5.6	2.4	5.7	1.3	4.3	ND	3.9	4.9	14.3	15.6	78.7	52.7
4	5.3	-	-	-	-	0.3	6.8	17.0	49.5	108.8	153.5	-
5	6.9	0.7	2.0	0.6	4.3	0.1	3.8	5.5	13.6	58.9	37.6	89.8
aver.	5.3	1.6	1.5	0.4	1.7	0.1	7.8	4.0	11.87	24.8	49.0	38.7

^aND: <0.01 ppm, -: Not measured.

Table 5. Precipitation and tritium levels in Jeonju area during the year 1993 and 1994

Month	Precipitation(mm)	Tritium(TU)
93.7	387.1(rain)	8.67
8	292.3(rain)	6.58
9	108.9(rain)	5.44
10	45.7(rain)	7.12
11, 12	119.5(rain)	9.44
94.1	35.5(snow)	6.90
2	21.6(snow)	10.31
3	45.5(rain)	15.22
4	28.0(rain)	-
5	102.1(rain)	-
6	101.9(rain)	4.77
7	57.7(rain)	7.11
8	231.6(rain)	-
9	19.3(rain)	-
10	123.9(rain)	-
11	27.7(rain)	-
12	25.9(rain)	-
1994 Total	820.5	
Weightedmean		7.71

-: Not measured.

질과 상호작용한 후 약수터 물로 용출될 때 암반층을 통과한 물은 긴 유동시간에 많은 물질을 함유하나, 흙층을 통과한 물은 짧은 유동시간에 많은 물질을 함유한다. 따라서 A그룹에 속하는 J-2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 등은 빗물과 거의 비슷한 약수터 물, B그룹에 속하는 J-5, 7은 암석층을 통과하지 않고 흙층만을 통과한물, C그룹에 속하는 J-1, 15는 지하이동을 충분히 한 암반지하수, D그룹의 J-4 역시 C와 같은 물로 해석하였다.

삼중수소와 전도도. 강수의 평균전기전도도값은 Table 2로부터 49.0 μ S, 약수터 물은 Table 4로부터 최저 68에서 최고 584 μ S로 강수의 평균전기전도도값보다 매우 높은 값을 나타냈다. 강수가 지하수로 침투하여 지하이동을 하는 경우 흙, 암석과 상호작용하여 총고용분이 증가하므로 전기전도도 역시 증가할 것이다.

삼중수소함량과 전기전도도 사이의 관계로 나타난 것이 Fig. 3이다. Fig. 3에서 삼중수소 농도가 강수와 비슷하나 전기전도도값이 약간 증가한 약수터 물을 A그룹, 삼중수소 농도는 강수와 비슷하나 전기전도

Table 6. Environmental tritium level (TU) of 15 springwaters

Sampling sites	Springwater		
	July	November	Aver.
J-1	14.33	13.57	13.95
J-2	9.13	9.73	9.43
J-3	7.98	8.76	8.37
J-4	16.38	16.06	16.21
J-5	8.05	7.57	7.81
J-6	9.38	8.69	9.03
J-7	10.45	9.49	9.97
J-8	7.52	6.91	7.21
J-9	6.82	-	6.82
J-10	7.24	5.22	6.23
J-11	8.56	9.98	9.27
J-12	11.59	10.83	11.21
J-13	7.07	-	7.07
J-14	7.04	-	7.04
J-15	16.45	15.38	15.91

1 TU = 3.24×10^{-3} pCi·g⁻¹

-: Not measured.

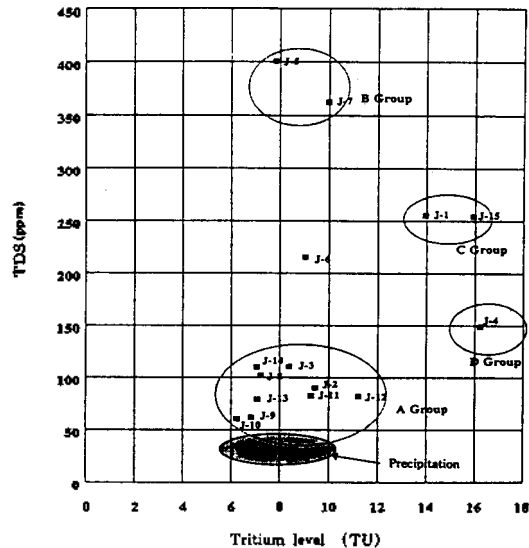


Fig. 2. Relationship between tritium and TDS of water samples.

도값이 매우 큰 약수터 물을 B그룹, 삼중수소 농도, 전기전도도값이 둘다 큰 약수터 물을 C그룹, 삼중수소농도는 크나 전기전도도값이 다소 작은 시료를 D그룹으로 분류하였다. 따라서 A그룹에 속하는 J-2,

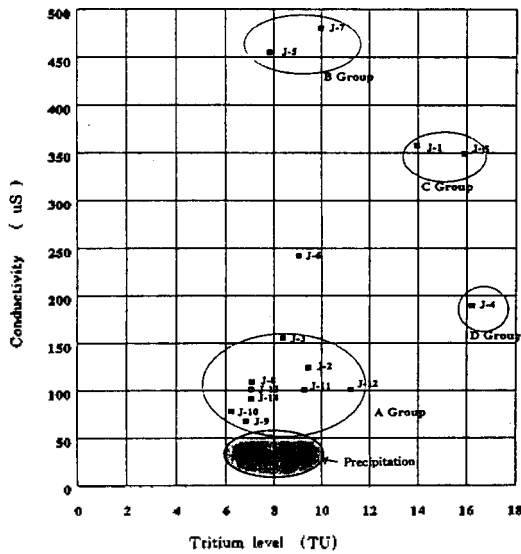


Fig. 3. Relationship between tritium and conductivity of water samples.

3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 등은 빗물과 거의 비슷한 약수터 물, B그룹에 속하는 J-5, 7은 암석층을 통과하지 않고 흙층만을 통과한 물, C그룹에 속하는 J-1, 15는 지하이동을 충분히 한 암반수, D그룹의 J-4역시 C와 같은 물로 해석하였다. 이상의 결과는 삼중수소농도와 TDS 관계에서도 같은 결론을 얻었다.

삼중수소와 chloride. 강수중 Cl^- 농도범위는 Table 2로부터 0.2~45.1 ppm이며 평균은 7.8 ppm이다. 약수터 물의 Cl^- 농도는 최저 3.5 ppm에서 최고 34.5 ppm까지 높게 나타났다. 이것을 삼중수소와의 관계로 나타낸 것이 Fig. 4이다.

Fig. 4에서 삼중수소농도가 강수와 비슷하나 Cl^- 의 농도가 약간 많은 약수터 물을 A그룹, 삼중수소농도가 강수와 비슷하나 Cl^- 농도가 강수보다 훨씬 많은 약수터 물을 B그룹, 삼중수소와 Cl^- 농도가 각각 강수보다 훨씬 많은 약수터 물을 C그룹, 삼중수소농도가 강수보다 크며, Cl^- 농도가 강수와 비슷한 약수터 물을 D그룹으로 나누었다.

김들은⁴ 제주도 용천수의 Cl^- 증가는 해수 침투 영향으로 보았으며, 해수침투지역의 해안가를 제외한 Cl^- 증가요인은 지하수의 순환이 매우 긴 경우에 $HCO_3^- \rightarrow HCO_3^- + SO_4^{2-} \rightarrow SO_4^{2-} \rightarrow SO_4^{2-} + Cl^- \rightarrow Cl^- + SO_4^{2-} \rightarrow Cl^-$ 순으로 증가하는 것으로 알

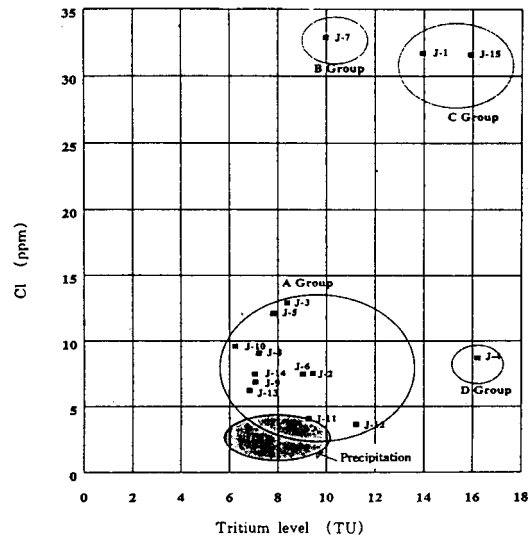


Fig. 4. Relationship between tritium and chloride of water samples.

려졌다.^{1,10} 따라서 A그룹에 속하는 J-2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14등은 강수와 유사한 약수터 물이며, B그룹의 J-7은 짧은 유동기간 동안에 많은 Cl^- 을 함유했기 때문에 Cl^- 이 많이 포함된 흙층, 예를 들어 오래전에 논을 쓰레기로 매립한 지역을 통과한 물, C그룹의 J-1, 15은 유동기간이 매우 긴 물이며, D그룹의 J-4는 지하유동을 충분히 했으나 C와는 완전히 다른 물로 해석하였다.

삼중수소와 총경도 자연수에서 나타나는 경도의 대부분은 칼슘에 의해 유발되는 총경도이다. 석회암 지대에서는 경도가 크게 나타나나 화강암지대에서는 경도가 매우 낮은 것으로 알려졌다. Ca과 Mg의 합을 총경도로 환산하여 각각의 삼중수소양과 관계를 나타낸 것이 Fig. 5이다. Fig. 5에서 삼중수소농도가 강수와 비슷하나 총경도값이 다소 큰 값을 갖는 약수터 물을 A그룹, 삼중수소농도가 강수와 비슷하나 총경도 값이 큰 값을 갖는 시료를 B그룹, 두 값 모두가 큰 약수터 물을 C그룹, 삼중수소농도가 크며 총경도값이 다소 작은 약수터 물을 D그룹으로 분류하였다.

일반적으로 경도가 0~75 mg/L는 단물, 75~150 mg/L는 약간 센물, 150~300 mg/L는 센물, 300 mg/L 이상은 대단히 센물로 분류한다.¹¹ 따라서 A 그룹의 J-2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 등은 빗물과

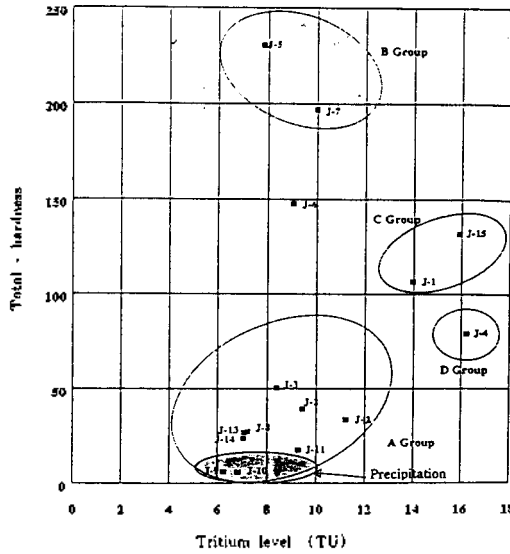


Fig. 5. Relationship between tritium and total hardness of 15 springwater samples.

유사한 단물, B그룹의 J-5, 7은 센물, C그룹의 J-1, 15는 약간 센물, D그룹의 J-4는 단물로 해석하였다.

Mineral balance index. 일본 大板大 공학부 Hashimoto 교수는 2가지 Mineral Balance Index로 K-Index와 O-Index를 제안하였다. K-Index는 건강한 물의 지표로서 일본 전국의 도별 뇌졸중 정정사망률 (adjusted death rates)과 하천의 화학적 성분사이에서 통계적 상관관계가 인정되는 것과 장수지역과 단수지역 음료수의 Mg/Ca 및 Na/K를 Ca-Na에 대한 그래프로 조사한 결과 장수촌에서는 Ca-Na값이 크게, Na 및 Mg은 작게 나타난 것을 기초로 하여 산출한 것이다.^{3,4,12} 이 제안에 의하면 $Ca-Na \geq 0.26$ (meq/L)이며 mg/L로 나타내면 $K-Index = Ca - 0.87Na \geq 5.2$ (mg/L)이다. 또 한 가지 O-Index는 일본의 대표적인 음료수, 광천수의 관능시험에 대해 Ca, K, SiO_2 가 맛을 좋게 하고, Mg, SO_4^{2-} 가 맛을 나쁘게 하는 것이 명백하다고 하여 $O-Index = (Ca + K + SiO_2) / (Mg + SO_4^{2-}) \geq 2.0$ 이면 맛좋은 물로 제안하였다. 물론 이 두 가지 지표값은 단정적인 것은 아니나, 맛있고 건강한 물의 표준의 하나로써 채택하는데 간편하고 편리한 방법이라 하겠다. 위의 식을 Table 3, 4에 적용하여 나타낸 결과가 Table 7이다. Table 7에서 K-Index에 해당하는 약수터 물은 J-4, 5, 6, 15 등 4곳이며 O-Index를 만족하는 약수터 물은 J-4

Table 7. Mineral balance index of 15 springwaters

Sampling sites	K-Index		O-Index	
	July	November	July	November
J-1	-0.88	-9.27	1.30	2.24
J-2	-4.87	-6.57	0.36	0.42
J-3	-8.28	-9.01	0.27	0.49
J-4	13.91	6.89	2.05	4.57
J-5	48.52	66.71	1.66	2.47
J-6	16.39	10.69	0.90	2.34
J-7	10.32	1.77	0.61	0.91
J-8	-7.30	-5.83	0.81	0.88
J-9	-11.34	-	0.29	-
J-10	-10.22	-9.88	0.78	0.81
J-11	-8.20	-6.26	3.03	2.45
J-12	0.43	-1.69	3.10	3.52
J-13	-6.71	-	1.12	-
J-14	-9.77	-	1.83	-
J-15	9.77	7.02	1.65	2.34

-: Not measured.

한 곳뿐이다. 따라서 건강하고 맛있는 약수터 물은 J-4 한 곳뿐이라 할 수 있다.

결 론

1. 강수의 평균전기전도도, TDS, 그리고 삼중수소 수준위는 각각 $49 \mu S/cm$, $38.7 mg/L$, 그리고 $7.71 TU$ 로 평균전기전도도값과 TDS는 약수터 물에 비해 매우 낮은 값을 나타냈고 삼중수소 수준위는 약수터 물과 비슷한 값을 나타냈다.

2. 삼중수소와 TDS, 삼중수소와 전기전도도, 삼중수소와 Chloride, 그리고 삼중수소와 총경도 사이의 관계로부터 15개 약수터 물을 빗물과 유사한 단물, 유동기간이 짧으며 흉증을 통과한 센물, 유동기간이 길고 암반 층을 유동한 약한센물, 유동기간이 길고 암반층을 유동한 단물의 특징적 그룹으로 나눌 수 있으며, 대부분의 약수터 물은 빗물과 유사한 단물로 평가할 수 있다.

3. Mineral Balance Index에 의해 D그룹의 J-4만이 맛있고 건강한 물로 평가되었다.

4. 강수와 약수터 물의 삼중수소 함량과 TDS, 전기전도도, Chloride, 총경도의 변화관계는 물의 특징을 구별하는데 있어서 매우 중요한 방법을 제공하는 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

1. Piper, A. M. *Am. Geophy. Union Trans* **1944**, 25, 914.
2. Todd, D. K. *Groundwater Hydrology*; John Wiley & Sons: New York, 1979, 293~294.
3. Hashimoto, S.; Fujita, M.; Furnkawa, K.; Minami, J. *Ferment. Technol.* **1987**, 65(2), 185.
4. Kim, J. H. *J. of Korean Chem. Soc.* **1992**, 36, 727.
5. Kim, J. H. ; Choi, Y. W. ; Chung, T. K. *J. Kor. Chem. Soc.* **1995**, 39, 910.
6. *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*, 16th Ed.; APHA-AWWA-WPCF: Washington, DC, 1985.
7. Calf, G. E.; Seatonberry, B. W.; Smith, L. W. *The Measurement of Natural Levels of Tritium in Water*; AAEC Report E 373, 1976.
8. *Age Dating Model Developement of Groundwater for Environmental Isotope*; Keunkook Univ., 1992; p 62.
9. Kim, J. H.; Choi, Y. W. *J. Kor. Chem. Soc.* **1996**; 40, 101.
10. Freeze, R. A.; Cherry, J. A. *Groundwater*; Prentice-Hall Inc.: New Jersey, 1979; pp 86~89.
11. Sawyeer, C. N.; McCarly, P. L. *Chemistry for Environmental Engineering, Trans. into Korean*; Donghwa Engineering; Seoul, 1993; pp 395~398.
12. Lee, C. K. *Master degree thesis*; Soongshil Univ.; 1989.