

전라북도 온천수의 수질 화학적 특성과 연대 측정

金鍾勳* · 崔錫旭

全州大學校 理工大學 化學科

(1995. 7. 19 접수)

Water Chemistry and Age Dating of Thermal Spring in Chullabukdo Region

Jong-Hun Kim* and Yong-Wook Choi

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

(Received July 19, 1995)

요 약. 전라북도 내에 최근 새로이 개발된 온천수와 그곳 지하수의 수질 화학적 특성과 연대(나이)에 관하여 연구하였다. 수질 화학적 특성 중 온도는 27~29℃의 미온천이며, F⁻ 이온은 평균 2~13 ppm으로 매우 높게 나타났고, NO₃⁻ 이온은 거의 검출되지 않았다. SO₄²⁻는 0.02~23 ppm이었으나 이중 유황천으로 알려진 Y₃의 SO₄²⁻ 함량은 다른 지역보다 최소 2배에서 최대 40배 이상 높게 나타났으며, HCO₃⁻ 이온은 지하수보다 온천수에 최소 2배에서 최대 5배 이상 높게 나타났다. Diagram에 의한 분류에서 Y₁, Y₃, Y₅, Y₂, Y₄, Y₈은 HCO₃⁻형, Y₆는 Cl⁻형, Y₇은 특징없는 물로 분류되었다. 강수(precipitation)와 온천수의 삼중수소 준위를 기초로 한 연대측정에서 piston flow model에 의해 Y₁은 -89년으로 가장 오래된 온천수며, Y₇은 -2년으로 가장 최근의 물로 계산되었다. 또한 dispersive model에 의한 값에서도 Y₁은 89년, Y₇은 2년된 물로 계산되어 piston flow model값과 거의 같은 결과를 얻었다.

ABSTRACT. The chemical characteristics and age dating of the thermal springwater developed recently in Chullabukdo were investigated. The temperature range of the thermal springwater was found 27~29°C, indicating a low temperature thermal springwater. The concentration of F⁻ ion in the springwater was found relatively high in the range of 2~3 ppm, but NO₃⁻ ion was nearly not detected. The concentration range of SO₄²⁻ ion was 0.02~23 ppm, among which SO₄²⁻ content of Y₃ was found very high compared to that of other springwater, since this site is known as a sulfur spring. HCO₃⁻ ion content was found 2~5 times higher than that of groundwater. Y₁, Y₃, Y₅, Y₂, Y₄, and Y₈ were classified as HCO₃⁻ type, Y₆ as Cl⁻ type, and Y₇ as no dominant type by classification diagram for anion and cation facies. From the results of age dating on the basis of the mean tritium level of precipitation and thermal springs, Y₁ was identified as the oldest thermal spring (-89 years) and Y₇ was identified as -89 years and Y₇ was -1 year using dispersive model. The results calculated by two models agreed well each other.

서 론

우리 나라에 현재까지 알려진 온천은 전국적으로 70여 개소이며 50여 개소가 북한에 분포되어 있고 남한에는 20여 개소로 알려져 있다. 그러나 전라북도 지방에는 온천이 존재하지 않았으나 최근 2~3년 사이에 수질이 좋은 온천수가 4~5곳 발견되어 이

지역 온천문화에 크게 도움을 주고 있다.

그 동안 온천수에 대한 조사 연구는 온천수의 이 화학적분석을 통하여 그것의 형태를 단순천, 방사능천, 유황천, 식염천, 탄산천, 중조천 등으로 그것의 특성을 구별하고, 수소 산소의 안정동위원소비(D/H, ¹⁸O/¹⁶O)에 의하여 온천수의 현황과 기원을 고찰한

조사, 연구가 있었다.¹⁻³

본 연구는 최근에 발견된 전라북도내 4개의 온천수(왕궁, 죽림, 석정, 화심)와 그 곳 지하수의 수질 화학적 특성과 연대측정(나이)에 대하여 연구한 것이다. 수질 화학적 특성은 Piper의 diagram⁴⁻⁶에 의한 방법으로 해석하였고, 연대측정에서는 온천수와 강수의 삼중수소의 농도를 측정하여 Piston flow model, Dispersive model을 사용하여 상호 값을 비교하였다.

실 험

시료채취. 전라북도내 주요 온천수(Y₁, Y₃, Y₅, Y₇)와 그 곳의 지하수(Y₂, Y₄, Y₆, Y₈)로 구분하여 채수하였고(Table 1, Fig. 1 참조), 강수는 93년 7월부터 전주대학교 이공대학 옥상에서 월별로 채수하였다.

이화학적분석. 수온은 수온온도계를 사용하여 현장에서 측정하였으며, pH는 시료를 실험실로 운반 후 즉시 pH meter(Corning ion analyser 255)로 측정하였고, 전기전도도는 HANNA HI3033을 사용하였고, 양이온 중 Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺은 Zeeman effect background 보정방식의 원자흡수분광기(Hitachi Z6100)를 사용하였고 그 중 일부 양이온(Na⁺, K⁺, NH₄⁺)은 삼성 SLC 100 Ion Chromatograph를 이용하여 Shodex Y-521(19 cm×4.6 mm I.D.) 양이온 교환 칼럼으로 분리하여 측정하였다. 또한 음이온(F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻)은 삼성 SLC 100 I.C.로 I-524A(15 cm×4.6 mm I.D.) 음이온 교환칼럼을 이용하여 정량하였으며,⁷ CO₃²⁻+HCO₃⁻는 0.05N H₂SO₄ 적정법으로 측정하였다.

삼중수소의 측정. 모든 물시료는 증류하여 염을

제거한 후 600 g을 취하고 전기분해하여 20 g이 될 때까지 농축하였다. 이때 소요되는 농축시간은 약 210분이며, Tritium 함량을 이미 알고 있는 3개의 Tritiated water를 다른 시료와 동일하게 처리하여 농축계수를 계산하였다. 농축 및 증류가 완료된 시료를 계측용기에 10 mL 취하고 여기에 Instagel 10 mL를 가하여, 1개월 이상 안정성이 유지되도록 하였다. 이 Tritium 시료는 액체섬광계수기(Packard Model 3255)로 20분씩 25회 반복 계측하고 TU(Tritium Unit; 1TU=3.24×10⁻³ pCig⁻¹, 1TU=T/H=1×10⁻¹⁸)로 환산하였다.

결과 및 고찰

온천수의 온도특성. 온천수의 특성은 온천수법에

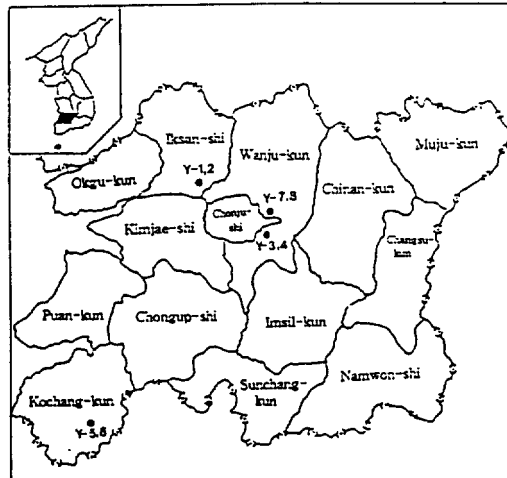


Fig. 1. Location of sampling sites of thermal spring in Chullabukdo region.

Table 1. Thermal spring sampling sites

Sample No.	Location	Description	Depth (m)	Temperature (°C)
Y-1	Chullabuk-do Iksan-gun Wangung-myun Onsu-ri Onsu-dong	Thermal Spring	500	27
Y-2	Chullabuk-do Iksan-gun Wangung-myun Onsu-ri Onsu-dong	Ground water	150	12
Y-3	Chullabuk-do Wanju-gun Sangkwan-myun Juklym-ri	Thermal Spring	550	28
Y-4	Chullabuk-do Wanju-gun Sangkwan-myun Juklym-ri	Ground water	150	11
Y-5	Chullabuk-do Kochang-gun Kochang-up Seokjeong-ri	Thermal Spring	650	29
Y-6	Chullabuk-do Kochang-gun Kochang-up Seokjeong-ri	Surface Water	0	15
Y-7	Chullabuk-do Wanju-gun Soyang-myun Hwashim-ri	Thermal Spring	500	28
Y-8	Chullabuk-do Wanju-gun Soyang-myun Hwashim-ri	Ground water	100	17

의하면 “지하로부터 용출되는 25℃ 이상의 온수로서 그 성분이 인체에 해롭지 아니한 것”을 말하기 때문에 온도라 할 수 있겠다. 김들은¹ 우리 나라의 경우 온천수의 기원은 기상수이고 이것이 지표와 지하이동을 통하여 지하의 열원에 의해 가열된 것으로 보고 있다. 전국적으로 황해도의 마산온천이 102℃로 가장 높고, 남한의 경우 부곡온천이 76℃로 가장 높으며 대체로 40~60℃ 내외이다. Table 1에 각각 온천수의 온도를 나타냈는데 4개 온천수 공히 27~29℃로 법적 요건 25℃를 조금 넘는 微温泉이라 할 수 있으나, 전국적 온천수 평균온도 40~50℃에 비하면 조금 낮은 온도라 하겠다.

온천수의 수질 화학적 특성. 광천수는 광물성분이 어느 기준치 이상으로 많이 용존하는 물을 말하며 평균지하수의 화학성분과 차이가 있는 물을 말한다. 온천수는 앞에서 언급했지만 지하로부터 용출되는 25℃ 이상의 온수로서 인체에 해롭지 아니한 것을 의미한다. 따라서 우리 나라의 경우 상수는 우리나라의 평균지하수의 화학성분을 기준으로 하고, 어

느 성분이 많이 포함된 물이라면 광천수라고 부르고, 온천수는 천수의 온도에 근거하여 정의한다.¹³ 온천수의 화학적 성분은 온천수지역의 구성 암석지질, 수리관계, 지질구조 등에 따라 달라지며 이것은 온천의 성인과 밀접한 관련성이 있다. 그것의 주요 음이온은 SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- 이온이며 그 다음에 전체 양이온의 양이다. 이와 같이 음이온을 중요하게 고려하는 이유는 음이온은 양이온에 비해 가스상태, 액체로서 존재하는 온도범위가 넓기 때문이다. Table 2는 온천수(Y_1, Y_3, Y_5, Y_7)와 그곳 지하수(Y_2, Y_4, Y_6, Y_8)의 주요 음이온 F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 를, Table 3은 온천수와 지하수 주요 양이온 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 를 분석한 결과를 ppm(epm)으로 나타낸 것이다.

F⁻ 이온. Table 2를 보면 온천수(Y_1, Y_3, Y_5, Y_7)의 F⁻ 이온의 농도범위는 평균 2~13 ppm으로 지하수(Y_2, Y_4, Y_6, Y_8)의 F⁻ 이온의 농도범위 0.1~0.6 ppm보다 매우 높음을 알 수 있으며, 지금까지의 온천수에 관한 연구 중 F⁻ 이온에 관한 연구는 없

Table 2. Chemical analysis data of anions for thermal spring and groundwater unit: ppm(epm)

Sampling site	Date	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Total (epm)
Y-1 ^e	94.3	4.7(0.24)	2.2(0.06)	ND	4.2(0.09)	85.3(1.40)	1.8
	6	3.1(0.16)	3.3(0.09)	0.02(0.0003)	4.8(0.10)	84.2(1.38)	1.7
	aver.	3.9(0.20)	2.7(0.08)	0.02(0.0003)	4.5(0.09)	84.7(1.39)	1.8
Y-2	94.3	0.3(0.01)	2.0(0.05)	ND	0.1(0.001)	49.6(0.81)	0.9
	6	0.2(0.01)	2.7(0.07)	0.1(0.001)	ND	51.2(0.84)	0.8
	aver.	0.2(0.01)	2.3(0.06)	0.04(0.0005)	0.1(0.001)	50.4(0.82)	0.9
Y-3 ^e	94.3	13.3(0.70)	32.3(0.90)	ND	23.6(0.47)	195(3.19)	5.3
	6	12.0(0.63)	33.4(0.94)	ND	22.6(0.47)	220(3.6)	5.6
	aver.	12.7(0.67)	32.8(0.92)	ND	23.1(0.48)	207(3.75)	5.5
Y-4	94.3	0.6(0.03)	12.7(0.36)	15.6(0.25)	15.9(0.33)	85.4(1.40)	2.4
	6	0.5(0.02)	15.6(0.44)	13.1(0.44)	15.7(0.33)	72.0(1.18)	2.2
	aver.	0.6(0.02)	14.1(0.40)	14.3(0.23)	15.8(0.33)	78.7(1.25)	2.3
Y-5 ^e	94.3	3.2(0.17)	158(4.44)	ND	37.1(0.77)	78.9(1.29)	6.7
	6	0.5(0.03)	140(3.94)	0.2(0.003)	0.02(0.0004)	72.0(1.18)	5.2
	aver.	1.9(0.10)	149(4.19)	0.2(0.003)	18.6(0.38)	75.4(1.23)	6.0
Y-6	94.3	0.1(0.005)	5.2(0.14)	ND	1.4(0.028)	58.72(0.96)	1.1
	6	0.1(0.006)	7.4(0.21)	0.5(0.008)	1.2(0.025)	40.3(0.66)	1.0
	aver.	0.1(0.005)	6.3(0.18)	0.5(0.008)	1.3(0.026)	49.5(0.81)	1.0
Y-7 ^e	94.3	6.7(0.35)	33.2(0.93)	0.8(0.006)	29.4(0.61)	101(1.65)	3.6
	6	5.8(0.30)	53.8(1.51)	0.03(0.0005)	10.3(0.22)	95.4(1.56)	3.6
	aver.	6.3(0.33)	43.5(1.22)	0.2(0.003)	19.8(0.42)	98.0(1.60)	3.6
Y-8	94.6	0.1(0.005)	7.7(0.22)	ND	12.6(0.26)	47.6(0.78)	1.3

^eThermal spring.

Table 3. Chemical analysis data of cations for thermal spring and groundwater unit: ppm(epm)

Sampling site	Date	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Total (epm)
Y-1 ^a	94.3	9.41	25.7(1.12)	5.2(0.13)	6.3(0.31)	0.02(0.001)	1.6
	6	9.10	23.0(1.00)	3.7(0.09)	4.3(0.21)	0.2(0.01)	1.3
	aver.	9.26	24.4(1.06)	4.5(0.11)	5.3(0.26)	0.1(0.005)	1.4
Y-2	94.3	8.01	8.6(0.38)	4.0(0.10)	0.4(0.02)	0.1(0.001)	0.5
	6	7.38	6.4(0.27)	3.6(0.09)	3.3(0.16)	1.4(0.12)	0.6
	aver.	7.70	7.5(0.33)	3.8(0.10)	1.9(0.09)	0.8(0.06)	0.6
Y-3 ^a	94.3	9.76	102(4.45)	5.0(0.13)	1.1(0.05)	0.02(0.001)	4.6
	6	9.30	81.5(3.54)	3.8(0.09)	0.6(0.03)	0.2(0.02)	3.7
	aver.	9.53	92.0(5.50)	4.4(0.11)	0.9(0.04)	0.1(0.01)	4.2
Y-4	94.3	7.51	23.4(1.02)	6.8(0.18)	1.1(0.05)	0.3(0.02)	1.3
	6	7.42	15.6(0.67)	5.3(0.13)	16.8(0.83)	3.7(0.31)	1.9
	aver.	7.46	19.5(0.84)	6.1(0.16)	9.0(0.44)	2.0(1.16)	1.6
Y-5 ^a	94.3	8.16	83.6(3.63)	7.8(0.19)	2.4(0.12)	0.1(0.01)	4.0
	6	6.85	32.9(1.43)	4.1(0.10)	32.1(1.60)	2.0(0.16)	3.3
	aver.	7.50	38.7(1.68)	5.9(0.14)	17.2(0.86)	1.1(0.08)	3.6
Y-6	94.3	7.44	4.3(0.18)	5.7(0.15)	0.3(0.01)	0.06(0.005)	0.3
	6	7.21	6.7(0.28)	3.6(0.09)	3.0(0.15)	0.8(0.06)	0.6
	aver.	7.32	5.5(0.23)	4.7(0.12)	1.6(0.08)	0.4(0.03)	0.5
Y-7 ^a	94.3	-	91.0(3.95)	4.4(0.11)	4.4(0.22)	0.1(0.01)	4.3
	6	8.61	83.8(3.64)	3.8(0.09)	9.8(0.49)	0.1(0.01)	4.2
	aver.	8.61	87.4(3.79)	4.1(0.10)	7.1(0.36)	0.1(0.01)	4.3
Y-8	94.6	6.42	5.2(0.22)	4.6(0.11)	8.3(0.42)	2.5(0.21)	1.0

^aThermal spring.

었으며, 이 F⁻ 이온의 농도가 매우 높은 것이 본 연구대상 온천수의 커다란 특징 중에 하나라 설명할 수 있다.

NO₃⁻ 이온. NO₃⁻ 이온의 경우 온천수에는 거의 검출되지 않았으나 지하수에서의 그 범위는 평균 14 ppm으로 나타났다. 일반적으로 NO₃⁻ 이온은 천연 추적자로 사용되며, NO₃⁻ 이온을 함유하지 않은 물은 오염되지 않고 매우 긴 유통경로를 가진 물이다. 따라서 전라북도내 온천수의 평균깊이 500 m를 고려할 때 온천수에는 NO₃⁻ 이온이 포함되지 않았다는 것은 이 온천수는 오염물질이 포함되지 않았으며 지하이동용 오래 한 물로 평가할 수 있다.

SO₄²⁻ 이온. Table 2에서 온천수 Y₁, Y₃, Y₅, Y₇의 SO₄²⁻의 함량을 살펴보면 평균 각각 4.5, 23, 19, 20 ppm으로 나타났다. 이중 유황천으로 알려진 Y₃의 SO₄²⁻의 함량은 23 ppm으로 다른 온천수나 지하수 중의 SO₄²⁻ 함량의 2~10배 이상의 매우 높은 농도를 나타내고, 유황천으로 알려진 백암온천수의 14 ppm¹²보다 높게 나타났다. 이것은 지하암반내의 SO₂

H₂S가 물속에 포화되어 H₂SO₄을 생성하여 SO₄²⁻ 이온으로 검출되기 때문에 높은 농도로 나타난 것으로 해석된다.

HCO₃⁻ 이온. 탄산가스는 대다수의 온천에서 관찰되며, SO₄²⁻나 Cl⁻의 용존량은 지하심부에서 온도와 압력이 높은 곳일수록 용출되는 함유량이 많으나 HCO₃⁻의 경우는 지층속의 탄산염에 의하여 주로 생성되며 지표부근의 박테리아 존재의 유기물 분해에 의해 생성되기도 한다. Table 2의 온천수 중 HCO₃⁻ 함량은 최저 75 ppm에서부터 최고 207 ppm 정도이고, 지하수는 48~79 ppm 정도로 온천수가 지하수보다 HCO₃⁻를 많이 함유하고 있으며 이곳이 지하 500 m 이상의 온천수이기 때문에 HCO₃⁻의 주된 생성원인은 대기 중의 CO₂ 용해나 유기물 분해라기보다는 지층속의 탄산염광물의 용해에 의해 많은 양의 HCO₃⁻을 함유한 것으로 해석된다.

Diagram에 의한 물의 분류⁴⁻⁶. Diagram에 의한 물의 분류는 Piper, Morgan과 Winner, Back 그리고 Zaporozec에 의해 발달되어 왔다. 그 주된 내용은

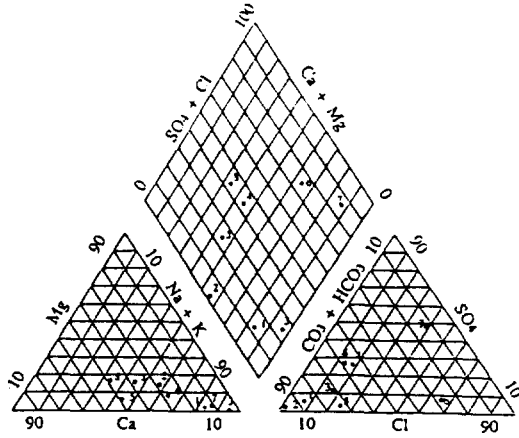


Fig. 2. Trilinear diagram for thermal spring and groundwater.

지하수의 수문화학적 진화과정을 평가하는데 지하수의 주요 양이온인 Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ 과 주요 음이온 SO_4^{2-} , Cl^- , $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ 의 양을 상호비교하여 물의 형태를 구분하는 것이다.⁶

Table 2, 3의 주요 음이온과 양이온의 당량을 구한 후 이를 다시 %함량으로 환산하여 diagram으로 나타낸 것이 Fig. 2이다. Fig. 2를 보면 양이온에 있어서 Na^+ , 또는 K^+ 형태의 물은 온천수 Y_1, Y_3, Y_7 이며 지하수는 Y_2, Y_6 이다. 또한 Y_4, Y_5, Y_8 은 뚜렷한 특징이 없는 물로 평가되었다. 또 음이온에서 대부분의 지하수가 HCO_3^- 형의 물로 분류되는데 이 형태에 해당하는 물은 Y_1, Y_3, Y_5 의 온천수와 Y_2, Y_4, Y_8 의 지하수이고 Y_7 은 특징이 없는 물이고, Y_6 는 Cl^- 형태의 물로 분류되었다. 따라서 전라북도내의 주요 온천수를 그의 주요성분에 의해 분류한다면 양이온에서는 Na^+ 형태이고 음이온에서는 HCO_3^- 형태로 분류할 수 있다.

연대측정. 삼중수소를 이용한 지하수와 온천수의 연대측정은 Kaufman과 Libby⁹⁻¹¹에 의해 최초로 시도되었다. 이 수소동위원소는 반감기가 비교적 짧은 12.43년이기 때문에 수개월 또는 수십년까지의 시간차까지는 계산할 수 있어 지하수나 온천수의 연대측정 및 추적자로 널리 사용할 수 있다. 특히 핵 폐기를 처분장 주변의 지하수 유동형태와 일반 폐기물 처분장의 오염물질의 이동을 연구하는데는 좋은 도구로 활용할 수 있다. 김들은^{12,13} 제주도 용

천수와 전주지역 주요 약수의 나이를 측정 한 바 있다.

온천수의 연대측정시 온천수에서는 여러 가지 물리 화학적 현상이 발생하므로 이들 항목에 대한 적절한 고려와 온천수의 유동형태를 파악한 다음 알맞는 모델방식을 도입해야 한다. 그러나 이러한 모든 항목을 고려한다는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 온천수의 삼중수소는 자연붕괴에 의해 서만 소멸된다는 것을 가정하여 연대측정하기로 하였다.

Piston flow model. 이 모델은 각각의 유동로를 따라 지하수계에 들어가는 물이 서로 혼합되지 않는다는 가정에 기준을 두고 있기 때문에 자연상태의 지하수계에서의 체재시간은 과소평가되나 하나의 지하수계에서 최소 체재시간을 측정하는 데는 매우 유용한 식이다. 충진지역으로부터 X_0 지역에 위치한 시료채취 지점의 원소농도를 C 로 하면 다음 식이 성립한다.

$$C = C_0 \exp(-X_0/VT) = C_0 \exp(-t/T) \quad (1)$$

여기서 C_0 는 충진수의 방사성동위원소(삼중수소)의 농도, V 는 지하수의 유동속도, T 는 동위원소의 평균수명($T = T^{1/2}(\text{반감기})/\ln 2$)이다. 이 식은 방사성물질의 반감법칙과 대응되는 식이다.

Table 4는 최근 7년 동안 대덕 연구단지내 한국 원자력연구소에서 채취한 강수에 대한 삼중수소의 농도를 나타낸 것이며, Table 5는 93년 94년 사이의 전주지방 강우중 월별로 삼중수소의 함량을 나타낸 것이다. 또한 Table 6은 전라북도내 주요 온천수의 삼중수소 준위를 나타낸 것이다. Table 6의 온천수 Y_1, Y_3, Y_5, Y_7 의 삼중수소 준위의 크기는 $Y_1 < Y_3 < Y_7 < Y_5$ 의 순으로 증가함을 알 수 있다. Table 4와 5의 강수중 삼중수소준위를 가장 최근인 94년도 연평균값인 7.51 TU를 C_0 (충진수의 삼중수소 준위)로 하여 식 (1)로부터 Y_1, Y_3, Y_5, Y_7 의 연대를 측정하면 각각 -89, -26, +6, -2년으로 계산되었으며 삼중수소의 준위가 낮을수록 오래된 물로 평가할 수 있다. 이때 (-)는 지금부터 몇년전이라는 것을 의미한다. 이중 Y_5 의 +6년은 현재 강수의 평균 삼중수소 준위보다 Y_5 의 온천수의 삼중수소의 준위가 높다는 것을 의미하며 이것은 최근의 강수로된 온천이 아니고 삼중수소의 근원이 매우 높은 때의 물

Table 4. Precipitation and tritium levels at Daeduk area during recent 8 years

Month	1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994	
	Precip. (mm)	Trtm (TU)	Precip. (mm)	Trtm (TU)	Precip. (mm)	Trtm (TU)	Precip. (mm)	Trtm (TU)	Precip. (mm)	Trtm (TU)	Trtm (TU)	Trtm (TU)	Trtm (TU)	Trtm (TU)	Trtm (TU)	
1	73.1	14.21	10.2	24.14	90.4	8.61	73.4	5.83	23.2	7.61	10.10	12.71	12.71	6.29		
2	60.5	27.73	5.1	—	82.1	12.62	111.1	5.93	56.9	10.26	9.15	12.87	12.87	13.20		
3	39.5	15.32	56.7	27.59	56.9	12.33	58.9	10.18	89.4	7.30	13.28	14.69	14.69	13.91		
4	55.1	18.63	60.4	34.15	21.9	19.11	88.4	15.68	69.4	10.94	12.76	13.51	13.51	7.13		
5	84.2	8.25	58.5	30.21	51.6	22.27	113.4	10.36	50.2	8.24	13.20	7.41	7.41	6.02		
6	136.0	15.96	62.4	8.76	170.3	12.03	277.8	6.13	169.0	4.75	12.80	6.03	6.03	5.05		
7	618.7	8.64	443.9	22.78	511.6	5.46	334.6	7.03	257.0	5.76	7.50	8.55	8.55	5.62		
8	580.2	10.72	154.2	13.97	105.5	6.33	215.0	5.05	139.0	8.48	3.93	7.62	7.62	4.32		
9	19.1	7.96	18.9	25.25	323.6	11.44	151.6	4.86	218.3	5.09	6.39	7.25	7.25	12.62		
10	80.2	12.76	1.5	—	35.3	8.51	4.2	9.84	16.1	12.55	13.34	10.57	10.57	12.64		
11	25.8	25.88	13.8	9.97	51.0	10.66	48.8	8.28	18.6	12.10	7.07	6.53	6.53	10.34		
12	3.4	12.76	9.2	13.44	17.8	10.21	19.2	9.51	—	7.54	8.24	7.72	7.72	9.90		
Total	1,838.8		894.8		1,538.0		1,496.4		1,125.1							
Weighted mean		11.50		21.50		12.34		8.22		8.38	9.18	9.62	9.62	7.51		

Precip: Precipitation, Trtm: Tritium.

Table 5. Precipitation and Tritium levels at Jeonju Area during the year 1993 and 1994

Month	Precipitation (mm)	Tritium (TU)
1993	7	387.1
	8	292.3
	9	108.9
	10	45.7
	11,12	119.5
1994	1	35.5
	2	21.6
	3	45.5
	4	28.0
	5	102.1
	6	101.9
	7	57.7
	8	231.6
	9	19.3
	10	123.9
	11	27.7
	12	25.9
1994 Total	820.5	
Weighted mean		7.71

—: not sampled.

이라 사료된다. 또한 Table 6의 지하수 Y_2 , Y_4 , Y_6 , Y_8 의 삼중수소의 준위를 기준으로 한 연대측정에서는 각각 -56, -2, -1, -1년으로 계산되었다. 이 물은 보통 지하 100 m 정도의 암반수로서 Y_4 , Y_6 , Y_8 는 거의 약 2년에서 1년 정도된 지하수로, Y_2 는 매우 오래된 물로 평가할 수 있는데 이것은 지하암반의 종류에 기인한 것이며 따라서 이 지역은 암반의 수리전도도가 매우 낮은 화강암으로 구성된 지역이라 사료된다.

Dispersive model^{14,15}. 이 모델에 따르면 각기 다른 시간에 지하수계에 들어가는 물의 수리학적 분산과 혼합은 유동로를 따라 이동하는 전이 시간에 의존한다. Nir¹¹에 의해 도입된 식은 다음과 같으며

$$\tau t = X_0 / VT = t / T = K \quad (2a)$$

$$\tau = \frac{D_m}{VT} \quad (2b)$$

충진지역으로부터 거리 X_0 , 수리학적 분산계수 D_m 이 알려지면, q 는 강수와 지하수 시료에서 실험적으로 결정된다. 그러면 r 와 q 값에 따른 값을 Fig. 3으로부터 구할 수 있으며 전이시간 t 는 식 (2a)으로부터 결정한다. 즉 $t = \tau T$ 이다. 그러나 본 연구에서는 거리

X_0 에 따른 수리학적 분산계수 D_m 을 측정하지 않았으므로 온천지역에서 화강암 열극이 발달된 곳의 지하수 유동속도 30 m/yr, D_m 은 보통값 50 m로 가정하여 (2b)식에 의해 플럼 $\tau=0.092$ 로 약 0.1의 값을 얻는다.^{2,16} 또한 Table 6 중 삼중수소의 평균농도를

Table 6. Tritium levels of Thermal spring

Sample No	Date	Tritium (TU)
Y-1 ^a	94.3	0.83
	6	0.93
aver.	0.05	
Y-2 ^b	94.3	0.39
	6	0.27
aver.	0.33	
Y-3 ^a	94.3	1.89
	6	1.74
aver.	1.79	
Y-4 ^b	94.3	6.73
	6	6.67
aver.	6.70	
Y-5 ^a	94.3	10.24
	6	10.86
aver.	10.55	
Y-6 ^b	94.3	6.79
	6	6.75
aver.	6.75	
Y-7 ^a	94.3	6.42
	6	-
aver.		
Y-8 ^b	94.3	6.62
	6	7.76
aver.	7.19	

^aThermal Water, ^bGroundwater.

94년도 강수중의 평균삼중수소 준위 7.71을 C_0 로 하여 q 값을 얻어 $\tau=0.1$ 로 가정하여 Fig. 3으로부터 r 값을 얻어 (2a)식에 대입하여 t 를 계산하여 Table 7에 나타냈다. Table 7에서 Y_4, Y_6, Y_7, Y_8 지하수는 τ 값을 0.01로 하여야 타당하다. 왜냐하면 $\tau=0.1$ 은 Fig. 3으로부터 r 값을 구할 수 없기 때문이다. 계산된 이들 지하수의 나이는 0.2~2년 사이였다. 또한 온천수 Y_1, Y_3 는 각각 89, 69으로 계산되어 50년 이상의 오래된 물이며 Y_1 은 piston flow model을 써서 계산한 값과 거의 일치하나, Y_3 만은 상당히 다르게 나타났다. 그러나 Table 7로부터 두 개의 각기 다른 모델을 사용하여 구한 연대측정 값은 전반적으로 매우 잘 일치함을 알 수 있다. 따라서 전라북도 온천수의 나이는 짧게 약 2년에서 길게는 약 90년 정도 된 물이라 해석할 수 있다. 또한 이 방법은 지하오염원을 추적하는 강력한 한 가지 방법으로 제공될 수 있다.

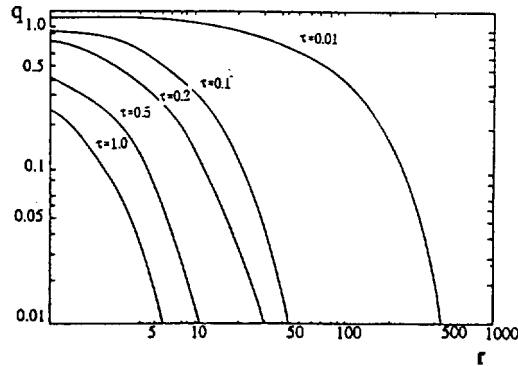


Fig. 3. r Values for different τ values according to the q .

Table 7. Residence time of geothermal spring and groundwater at various τ values

Sample No	$q(C/C_0)$	τ	r	Residence time (year)	
				Dispersive model	Pistonflow model
Y_1^a	6.65×10^{-3}	0.1	50	89.65	89.88
Y_2	0.0439	0.1	31	55.58	-56.04
Y_3^a	0.2383	0.1	39	69.92	-26.27
Y_4	0.8921	0.01	6	1.07	-2.08
Y_5^a	1.4047	0.1	-	-	+0.68
Y_6	0.9041	0.01	6	1.07	-1.92
Y_7^a	0.8548	0.01	10	1.79	-2.27
Y_8	0.9573	0.01	1	0.17	-0.78

^aThermal Spring.

결 론

1. 전라북도내 온천수의 온도는 평균 27°~29 °C로 일반적인 온천수의 온도 40°~60 °C에 비하여 낮은 미온천이다.

2. 온천수(Y_1, Y_3, Y_5, Y_7)의 F^- 이온의 농도범위는 평균 2~13 ppm으로 지하수(Y_2, Y_4, Y_6, Y_8)의 F^- 이온의 농도범위 0.1~0.6 ppm보다 매우 높았다.

3. 온천수에서는 NO_3^- 이온이 거의 검출되지 않으나 지하수에서는 14 ppm까지 나타났으며, SO_4^{2-} 이온은 유황온천으로 알려진 Y_3 의 경우 SO_4^{2-} 이온은 23 ppm으로 다른 온천수에 비해 2~10배 이상의 매우 높은 농도로 나타났다.

4. HCO_3^- 이온 함량은 온천수가 75~207 ppm으로 같은 지역 지하수의 HCO_3^- 함량 48~79 ppm보다 무려 2~5배 이상 많이 포함되어 있었다.

5. Diagram에 의한 온천수의 분류에서 $Y_1, Y_3, Y_5, Y_2, Y_4, Y_8$ 은 HCO_3^- 형, Y_6 은 Cl^- 형이고 Y_7 은 뚜렷한 특징없는 물로 분류되었다. 따라서 전라북도내 온천을 그 주요 성분에 의해 분류하면 양이온은 Na^+ 형이고 음이온은 HCO_3^- 으로 분류할 수 있다.

6. 강수와 온천수중의 삼중수소준위를 기초로한 연대측정에서 piston flow model에 의해 Y_1 은 -89년, Y_7 은 -2년으로 계산되었으며, dispersive model에 의해서도 Y_1 은 89년 Y_7 은 2년된 물로 계산되어 두 모델에 의한 계산값이 거의 같은 결과를 나타냈다. 따라서 전라북도 온천수는 최소 2년 최대 90년 정도된 물로 구성된 것으로 해석된다.

인 용 문 헌

1. 내무부. 온천지; 내무부 지방행정국, 경준문판인쇄;

- 서울, 한국, 1983; p 24~125.
2. 김종훈; 안종성. 한국원자력준계학술발표논문집, 1989; p 561~578.
 3. 탕원호삼; 퇴야금장. 온천학, 지인서관, 동경, 소화 43년; p 95.
 4. Piper, A. M. *A graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis*; Am. Geophys. Union Trans., 1944, p 25.
 5. Todd, D. K. *Groundwater Hydrology*, John Wiley & Sons: New York, 1959; p 293.
 6. Freeze, R. A.; Cherry, J. A. *Groundwater*; Prentice-Hall, Inc.: New Jersey, 1979; p 250.
 7. Kim, J. H.; Choi, Y. W.; Chung, T. K. *J. Kor. Chem. Soc.* 1995, 39, 910.
 8. Calf, G. E. et al. *The Measurement of Natural Level of Tritium in Water*, AAEC/E373, 1976, July.
 9. Kaufman, S.; Libby, W. *Phys. Rev.* 1964, 93, 1137.
 10. Bear, J. J. *Geophys Res.* 1961, 66, 2455.
 11. Nir, A. *J. Geophys Res.* 1964, 69, 2589.
 12. Kim, J. H.; Ahn, J. S. *J. Kor. Chem. Soc.* 1992, 36, 727.
 13. Kim, J. H.; Choi, Y. W. Jeonju Univ. Environ. Res. Inst. Report, Jeonju, Univ., 1994.
 14. 한국원자력연구소. 구조거동 및 지질·수문특성연구; 과기처 KAERI/RR-895/89/HY; 한국원자력연구소: 대전, 한국, 1989.
 15. 건국대학교. 환경동위원소를 이용한 지하수의 Age Dating 모델개발; 건국대학교부설 환경연구소: 서울, 한국, 1992.
 16. IAEA; *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, Technical Reports Series No. 91*, IAEA, Vienna, 1983; p 289.