

온양온천지역 지하수의 지화학적 특성이 주는 교훈: 과도한 채수로 인한 영향

김강주^a · 구민호^b · 문상호^c · 염병우^c

^a : 군산대학교 토목환경공학부 (kangjoo@kunsan.ac.kr)

^b : 공주대학교 지질환경과학부

^c : 한국지질자원연구원 환경지질부

요약문

온양온천 지역 지하수에 대한 수질 조사결과, 심부 피압대수층에서 산출되는 온천수의 수질이 천층의 저온지하수에 강하게 영향을 받고 있음이 확인되었다. 본 연구에서는 이들 두 종류의 물 사이에서 매우 높은 상대적인 농도차이를 보이는 불소이온농도를 이용하여 천층지하수의 영향정도를 정량화할 수 있었다. 이 같은 방법으로 계산된 천층지하수 영향정도는 온천수취수정에 따라 다르게 나타나고 있었으나, 최소 10%에서 최대 50%에 이르는 것으로 확인되었다. 이와 같은 관찰결과는 오염에 취약하지 않은 것으로 알려진 심부의 피압대수층도 과도한 양수가 이루어지게 되면 오염에 취약한 천층부의 지하수를 다량 심부로 유입시킴으로써, 점차 오염되어질 수 있음을 보여주는 것이다.

1. 서론

과거의 지하수 개발은 지표 10-30m 이내의 다공질 대수층에서 지하수를 개발하는 것이 주종을 이루었으나, 최근에는 깊이가 백미터 이상되는 심정개발이 다수를 이루고 있는 실정이다. 이는 그동안 지속되어진 지표오염으로 인하여 천부대수층에서는 더 이상 양호한 수질의 지하수를 얻기가 힘들어짐에 따른 것이라고 볼 수 있다. 그러나, 비점오염원이 넓게 분포된 도시지역에서는 상당수의 심부 암반대수층 취수정들이 개발 후 수년이 지나지 않아 수질이 불량해짐에 따라, 폐공처리 대상으로 전락하는 사례가 빈번하게 발생되고 있는 상황이다. 이 때문에, 그 동안 심부암반대수층 지하수 관리를 위한 많은 노력이 있어 왔으며, 그 같은 노력은 주로 우물 케이싱을 따른 오염물질 유입방지나 폐공을

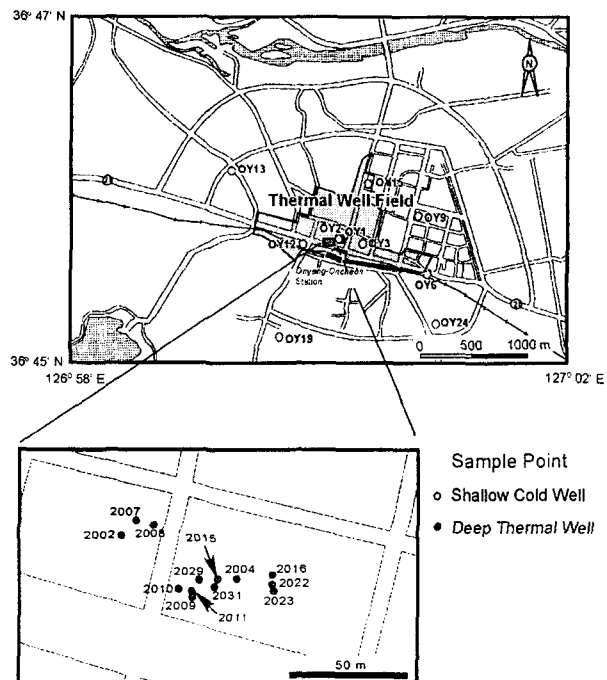


Fig. 1. Location of study area and sample points.

은 노력이 있어 왔으며, 그 같은 노력은 주로 우물 케이싱을 따른 오염물질 유입방지나 폐공을

통한 오염물질 유입을 방지하는 것에 주로 집중되어왔다. 그러나, 본 연구는 상당정도 피압되어 있는 심부대수층이라 하더라도 과도한 지하수개발은 오염에 상대적으로 민감한 표층부의 지하수를 상당량 심부의 피압암반대수층에 유입시킴으로써, 심부의 피압암반대수층도 오염에 취약해질 수 있음을 잘 보여주고 있다.

2. 연구 지역 및 조사방법

온양온천지구는 온양온천역 북쪽으로 약 1 km 그리고 동서방향으로 약 1.5 km에 이르는 좁은 구역을 말하며('Thermal Well Field' in Fig. 1), 본 온천지구에서는 약 38공의 온천수개발공이 밀집되어 있으며, 이들로부터 연간 130 만m³의 온천수 (thermal groundwater) 를 개발하고 있다. 온양지역의 냉천수 공들은 상당히 깊은 심도를 갖는 온천수공(150 - 300 m)들보다는 비교적 얇은 심도(보통 50-100 m)를 가지고 있다.

온양온천수는 1910년 대 이후 시추를 통한 광범위한 개발이 시작되기 전에는 현재의 온양관광호텔 부지 내에서 자연 용출하였던 것으로 전해지고 있다. 이로부터 추측하여볼 때, 과거에는 심부의 온천수대수층의 정수압면은 지표면보다 더 높았던 것으로 판단된다. 그러나 지난 백여년 동안의 과도한 채수로 인하여 더 이상의 자연용출은 관찰되지 않고 있다. 현재는 온천수공 수위(piezometric surface)는 대부분 지표면아래 약 100-140m 정도에서 계절적 변화를 보이고 있는 상태이다 (문상호의 10인, 1999). 반면, 상대적으로 작은 심도를 가지는 냉천수공 수위도 이 같은 온천수 개발로 인하여 지표로부터 10에 50 m 까지 강하된 상태로 나타나고 있다. 천층수공과 온천수공과의 깊이차이가 그리 크지

않은 점을 감안할 때(50-200 m), 이 같이 큰 수두차이(50-100)는 심부 온천수대수층이 비교적 강하게 피압되어 있음을 지시하는 것으로 생각된다.

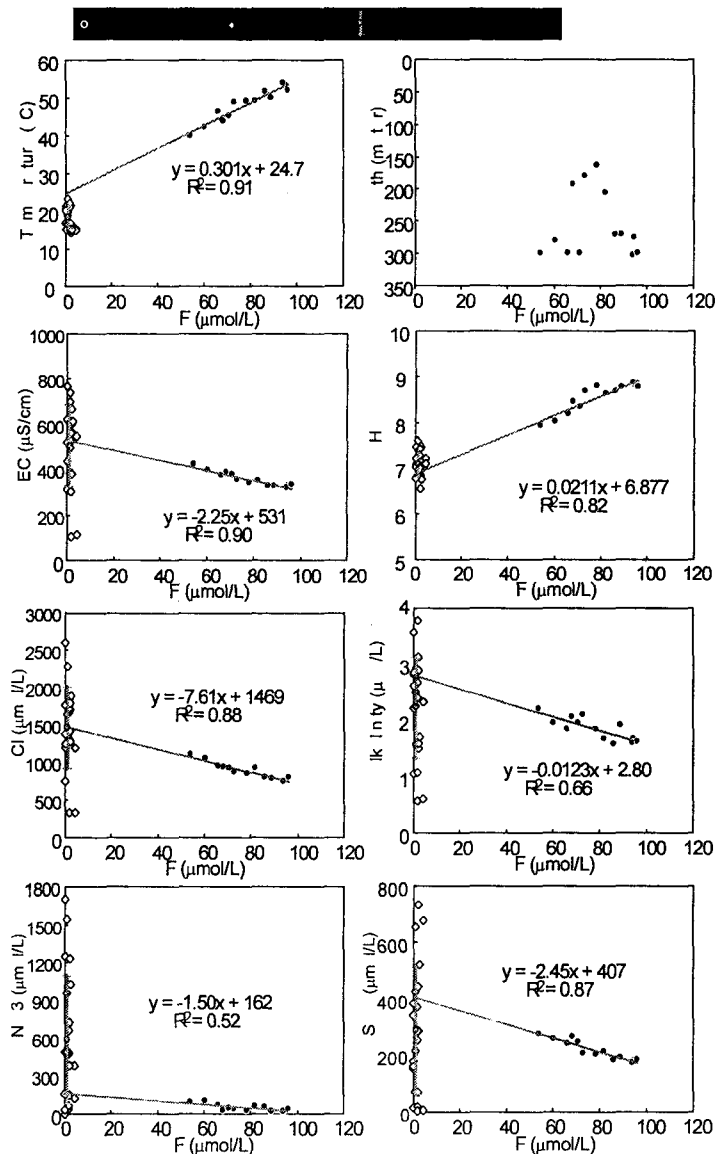


Fig. 2. Plots of solute concentrations with respect to the concentrations of fluoride.

본 연구를 위하여 13개의 온천수공 및 그 인근에 분포하는 10개의 냉천수공의 시료를 채취하였으며, 이들 시료들은 pH, EC, alkalinity, 주요양이온(Ca, Mg, Na, K) 및 주요음이온(Cl, SO₄, NO₃, F), 용존 silica 등에 대하여 분석되었다. 몇몇 시료에 대해서는 δ¹⁸O, δD, δ¹³C, δ³⁴S 등과 같은 동위원소 분석도 이루어졌다.

3. 연구 결과

냉천수와 온천수는 매우 다른 수질 특성을 보이는 것으로 나타났다(Fig. 2). 냉천수의 수질은 비교적 넓은 범위의 농도 값을 보이고 있었던 반면 온천수의 수질은 거의 모든 항목에서 냉천수에 비하여 좁은 범위의 농도값을 나타내고 있었다. 그러나, 불소의 경우는 온천수에서 상대적으로 높고 넓은 농도범위(1.0 ~ 1.8 ppm)를 보이고 냉천수에서는 매우 좁은 범위에서 낮은 농도(0.027±0.023 ppm)를 보임으로써, 두 종류 지하수를 뚜렷이 구분해주고 있었다.

심부 온천수는 전체적으로 불소이온농도와 높은 상관관계를 보였으며, 특히, 보존성이 높은 것으로 알려진 염소이온, EC, 및 총양이온농도(Σ cation) 등에서 더욱 높은 상관 관계($r^2 \approx 0.9$)를 보였다. 염소이온과 전기전도도의 경우는 천부냉천수 자체가 상당히 넓은 범위의 값을 보여주고 있었으나, 온천수에서 관찰된 상관관계를 냉천수의 불소이온농도 영역까지 확장하면, 그 교차점이 평균 냉천수 농도 값에 매우 근접하게 나타나고 있었다(± 1σ 이내; Fig. 3). 이 같은 현상은 수온, pH 등에서도 비슷하게 나타나고 있었다. 이는 온양 지역 온천수의 수질 및 온도가 천부의 냉천수와 심부의 온천수와의 혼합에 의하여 거의 전적으로 결정되고 있는 것을 지시하는 것으로 생각되어진다.

이 같은 현상은 과도한 심부 온천수의 채수에 의한 천부냉천수의 심부 유입에 따른 것으로 판단된다. 천층수 수질 변화폭은 매우 크게 나타나고 있는 반면, 이에 영향을 받는 것으로 생각되어지는 온천수는 불소이온 농도와의 상관관계선에서 크게 벗어나지 않는 수질을 보이고, 또한, 불소이온으로 추정된 냉천수 농도가 관찰 값의 평균에 매우 유사하게 나타나는 것은 천층부의 냉천수가 점차 심부로 이동하면서 서로 충분히 섞임으로써 수질이 균질해진 후에 심부의 온천수와 혼합되어 나타나는 것으로 판단된다.

불소이온농도를 이용하여 두 지하수간의 혼합비율을 구하여 보았다. 본 계산을 위해서 냉천수의 평균 불소이온농도를 심부로 유입되는 천층지하수의 극단값으로 가정하였으며, 천층지하수와 혼합되기 전의 온천수수질은 질산이온과 불소이온과의 관계에서 질산성질소의 농도가 '0'이 될 때의 불소이온농도를 추정하여 온천수의 극단농도로 가정하였다(Fig. 3). 천층지하수의 영향정도를 정량화한 결과, 조사된 대부분의 온양온천수공들은 천층부의 냉천수유입으로 인하여 최소

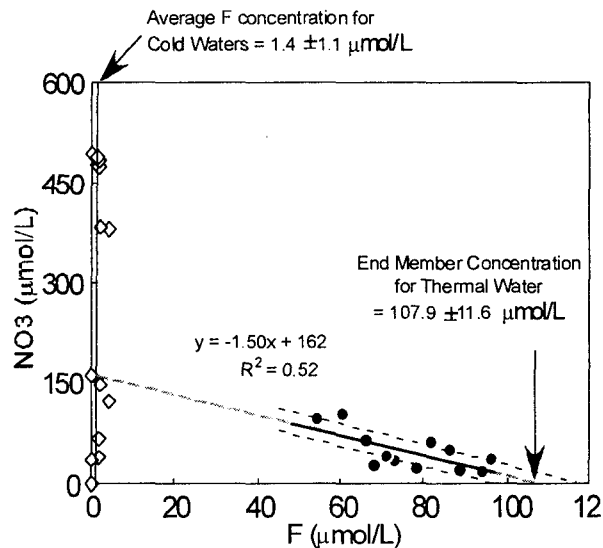


Fig. 3. Prediction of end-member F concentration for thermal groundwater based on NO₃⁻ concentration.

산성질소의 농도가 '0'이 될 때의 불소이온농도를 추정하여 온천수의 극단농도로 가정하였다(Fig. 3). 천층지하수의 영향정도를 정량화한 결과, 조사된 대부분의 온양온천수공들은 천층부의 냉천수유입으로 인하여 최소

10 %에서 최대 50 % 정도까지 영향을 받고 있는 것으로 나타났다(Table 1).

4. 토의 및 결론

우리는 본 연구지역 조사를 통하여, 피압암반대수층 지하수라고 하더라도 과도한 지하수개발은 천층부의 지하수를 심부대수층으로 상당량 유입시킬 수 있음을 확인하였다. 이 같은 관찰결과가 지시하는 중요한 사항은 그동안 국내에서 빈번하게 관찰되어온 심부피압대수층 지하수 오염과정이 취수정의 casing을 따라 유입되는 오염물질에 의한 것만은 아니라는 점이다. 오히려 본 연구지역에서는 그와 같은 과정은 적절한 취수정관리로 인하여 중요하게 작용하지 않은 것으로 판단된다.

심부의 암반대수층 지하수 보호를 위한 기존의 노력은 주로 폐공관리나 취수정의 케이싱을 따르는 오염물질의 유입방지 등이었다. 오염물질을 일차적으로 가압층이 차단해준다는 인식으로 인하여, 가압층을 통과하는 오염물질의 유입에 대해서는 그리 중요하지 않게 생각해온 것이 사실이다. 그러나, 본 연구결과에 의하면 온양온천지역은 50-150 m의 깊이차이에 수두차이는 100m에 이를 정도로 심부의 온천수 대수층이 천층 대수층과 상당히 단절되어 있음에도 불구하고, 과도한 채수로 인하여 천부의 냉천수가 적지 않게 유입되어 심층부 온천수질 및 수온을 떨어뜨리고 있음이 확인되었다.

따라서, 본 연구를 통하여 심부의 피압대수층지하수 수질의 적절한 관리를 위해서는 천부지하수의 오염방지와 함께 오염된 천부지하수의 심부유입을 차단할 수 있는 조치가 절실함을 알게되었으며, 심부암반대수층 지하수의 개발밀도를 제한하는 것도 천부지하수의 과도한 유입을 줄이는 한 가지 방법이 될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(3-1-1)에 의해 수행되었습니다.

Table 1. Estimated cold groundwater fractions in the thermal groundwaters in Oyang-oncheon area.

Thermal Well No.	Cold Water Fraction (%)		
	max	median	min
2002	35	28	19
2004	26	18	8
2007	39	33	24
2008	43	37	29
2009	55	50	44
2010	31	24	15
2011	41	35	27
2015	45	39	32
2016	21	12	2
2022	28	20	11
2023	21	13	2
2029	19	11	0
2031	50	44	38