

김해시 생림면 탄섬 강변여과수 개발 예정 지역의 수질특성조사

박성민 · 김형수 · 석희준 · 김진훈

한국수자원공사 수자원연구원
komandu@hanmail.net

요 약 문

김해시 강변여과수 예정지역에 18개의 관측공에 대하여 수질 모니터링을 수행하였다. 그 결과 본 지역은 농업활동 등에 의한 비료의 사용으로 인하여 질산성 질소는 탈질작용이 철/망간은 용존상태로 존재할수 있을 정도의 강한 환원환경을 조성하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 질산성질소는 2.39 mg/L로 음용수기준(10 mg/L)에 적합한 값을 보였지만, 철/망간의 경우 음용수 기준(철/망간: 0.3 mg/L)에 10-20배 이상 초과하는 것으로 조사되었다.

Key word: 강변여과수, 철, 망간

1.서론

김해시 수도정비계획 보고서에 의하면 2016년 김해시의 인구가 67만명 이상으로 예상하고 있으며, 용수 수요량은 379.8천m³/day로 예상하고 있다. 김해시의 경우 지리적 입지 조건 등이 우수해 부산 및 경남의 중소기업이 집중적으로 이전하고 있으며, 부산 및 창원지역의 Bed Town의 역할도 담당하고 있어 이에 따른 인구 증가가 빠르게 진행되고 있다. 이에 따라 현재 김해시 생림면 마사리 낙동강(탄섬) 일원에 강변여과 방식으로 공업·생활용수 공급을 추진하고 있으며, 2003년 12월에 타당성 조사를 완료하고 2004년 4월에 기본 및 실시설계 용역을 착수하여 현재 수행 중에 있다¹⁾. 이러한 조사결과에 따르면 강변여과 방식으로 취수된 물은 표류수와 비교하여 대체로 양호한 수질을 보이지만 일부 항목(철, 망간, 질산성 질소)이 먹는 물 수질 기준을 초과하는 것으로 조사되고 있다¹⁾. 본 연구는 강변여과현장 배후지에 부존하는 지하수를 대상으로 철·망간의 오염 현황을 파악하고, 강변여과 지역 대수층 공극수의 수질 변화를 제어하는 지구 화학적인 영향인자를 규명하여 궁극적으로 강변여과수에서 발생 가능한 수질문제를 해결하는데 목적이 있다.



그림 1 김해 생림면 탄섬 지역 시료채취 지점

2.본론

2.1 연구방법

김해시 생림면 탄섬일원의 지하수의 수질 특성 파악을 위해 수질 관측공 18개를 선정하여 조사하였다(그림 1). 또한 강변여과수로 활용하고 있는 자갈층의 수질과 농업용으로 사용하고

있는 모래층의 수질을 비교해보기 위해 자갈층에 설치된 관정 7개, 모래 및 실트층에 설치된 관정 11곳을 선정하여 비교해 보았다. 현장 조건에 민감한 기본적인 물리화학적 인자(온도, pH, DO, EC, ORP)는 채수 즉시 측정하였으며, 주요 이온, Fe, Mn은 채수하여 실험실에서 분석을 수행하였다.

2.2 지형 및 지질

본 조사지역은 밀양강과 낙동강이 합류되는 지점으로 두 강의 유수에 의해 형성된 사구이며, 주변부도 대부분 낙동강 및 밀양강의 유수의 영향으로 형성된 퇴적층으로 상부는 소량의 실트 섞인 세립질 모래가 우세한 토질로 강의 주변부를 따라 비교적 넓은 평야를 형성하고 있다. 본 조사지역의 지질은 중생대 백악기에 형성된 유천층군과 불국사 관입암류가 기반암으로 분포하고 제 4기 충적층이 부정합으로 최상부에 위치하고 있다. 충적층의 경우 입도가 대부분 세립질로 이루어져 있고 불투수층의 점토층들이 협재되어 있는 특징을 나타내고 있다¹⁾.

2.3 수질특성조사

김해시 생림면 탄섬 지역에서 채수된 지하수의 수질 유형을 파악하기 위하여 파이퍼 다이어그램을 도시하였다(그림 2). 그 결과 모래 및 실트층에 설치된 관정은 Ca-HCO₃유형을 나타내지만 자갈층에 설치된 관정은 Na-HCO₃유형이나 Na-Cl유형을 나타내고 있다(그림 2). 이 지역의 산화-환원전위에 민감한 화학종들의 평균값을 살펴보면, 질산성 질소 2.39 mg/L(0 ~ 25.75 mg/L), 철 5.31 mg/L(0.01 ~ 14.30 mg/L), 망간 2.18 mg/L(0.17 ~ 6.79 mg/L)을 나타내었다. 질산성 질소의 경우 2.39 mg/L로 음용수기준(10 mg/L)에 적합한 값을 보였지만, 철/망간의 경우 음용수 기준(철/망간: 0.3 mg/L)에 10~20배 이상 초과하는 것으로 조사되었다. 이 결과에 미뤄 탄섬 지역의 충적층은 비닐하우스등의 농업활동에 의한 유기물의 유입이나 퇴적물의 유기물들의 산화에 의해 강한 혐기성 환경을 이루는 것으로 판단된다²⁾.

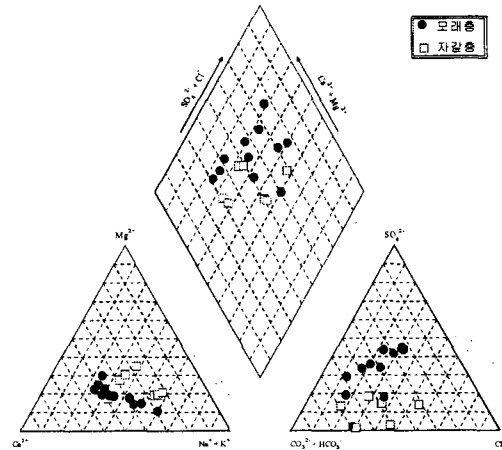


그림 2 연구지역 충적층 지하수의 파이퍼 다이어그램

강변여과수로 활용되고 있는 자갈층(깊이 25~40m)의 수질과 관정의 깊이가 10~18m내의 농업용관정 수질의 평균값을 비교해 보면, 온도의 경우 깊이가 깊은 자갈층관정(17.57℃)에서 모래층의 농업용 관정(15.4℃)보다 높은 온도를 보였다. 마찬가지로 전기전도도, 용존산소, pH의 경우도 자갈층관정에서 높은 값을 보였다. 하지만 산화-환원전위는 자갈층관정에서 상대적으로 낮은 값을 보였다. 질산성질소의 농도는 깊이가 얇은 모래층관정에서 높은 값을 보였고 또한, 철, 망간 농도 모래층관정에서 높은 값을 보였다. 이와 같이 자갈층의 온도가 높은 이유는 현장 측정 결과만으로는 정확한 해석을 할 수 없지만 양수로 인한 하천수 유입이 이루어지거나, 지역적으로 불 때 섬 형태를 보이기 때문에 심도가 깊은 물은 하천수와 혼합되어 있을 가능성이 높다. 이에 대한 정확한 조사는 동위원소 분석을 통해 확인할 수 있을 것으로 사료된다. 얇은 모래층의 관정에서 철, 망간 농도가 높은 이유는 농업활동에 의한 비료의 유입에 따른 결과로 유기물이 산화되면서 오히려 철, 망간이 용출 될 수 있는 강한 환원 환경이 조성된 결과로 판단된다(표 1).

표 1 김해 생림면 탄성지구의 수질분석 통계자료

Sample	Temp. (°C)	EC (mS/cm)	DO (mg/L)	pH	ORP (mV)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)
Number	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Max.	19.62	0.98	1.13	7.27	352.00	288.81	153.17	25.75	67.74	19.20	45.50	147.00	8.32	6.79	14.30
Min.	12.41	0.19	0.18	5.61	2.00	38.49	6.99	0.00	3.07	3.12	12.70	7.99	1.54	0.17	0.01
Mean	16.24	0.43	0.45	6.52	128.26	109.67	44.87	2.39	34.37	7.89	22.46	35.07	4.07	2.18	5.31
Median	16.69	0.37	0.44	6.51	115.00	108.62	33.21	0.00	33.43	8.37	20.65	18.50	3.03	1.76	4.37
St. Dev.	2.22	0.21	0.23	0.50	109.84	66.00	42.15	6.19	19.04	4.16	9.17	36.39	2.27	1.75	4.56
Kurtosis	-0.98	1.92	3.64	-1.15	-0.20	1.62	3.18	13.50	-0.49	1.67	1.42	4.68	-0.82	1.36	-0.58
Skewness	-0.44	1.40	1.48	-0.08	0.82	1.07	1.92	3.58	0.18	1.03	1.36	2.10	0.77	1.22	0.73
Number	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Max.	18.41	0.60	0.67	6.78	352.00	146.40	61.73	25.75	67.74	11.30	45.50	37.70	4.61	6.79	14.30
Min.	12.41	0.19	0.18	5.61	16.70	38.49	6.99	0.00	3.90	3.12	12.70	7.99	1.54	1.03	0.01
Mean	15.40	0.33	0.39	6.26	181.97	75.17	25.96	3.77	39.67	6.11	22.70	17.32	2.64	3.03	6.51
Median	15.69	0.34	0.40	6.27	173.00	54.75	19.45	1.00	39.22	5.01	19.60	13.00	2.48	2.32	5.45
St. Dev.	2.20	0.12	0.16	0.37	106.38	41.95	15.51	7.72	19.63	2.99	10.92	9.97	0.92	1.70	5.29
Kurtosis	-1.42	1.74	-0.89	-0.58	-0.40	-0.90	1.67	7.99	-0.38	-1.10	0.86	0.98	0.69	0.92	-1.60
Skewness	-0.02	1.03	0.39	-0.11	0.28	0.95	1.18	2.78	-0.09	0.69	1.35	1.43	0.96	1.04	0.21
Number	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Max.	19.62	0.98	1.13	7.27	133.00	288.81	153.17	1.61	51.38	19.20	33.60	147.00	8.32	1.94	6.28
Min.	14.61	0.36	0.19	6.11	2.00	90.64	20.17	0.00	3.07	4.58	13.90	14.80	2.98	0.17	0.43
Mean	17.57	0.59	0.54	6.94	43.86	163.87	74.59	0.23	26.05	10.68	22.09	62.96	6.31	0.83	3.43
Median	17.96	0.52	0.54	7.10	33.00	148.77	58.66	0.00	24.59	10.90	21.50	54.60	7.04	0.77	3.38
St. Dev.	1.57	0.23	0.30	0.39	41.46	61.64	54.29	0.61	15.90	4.38	6.29	45.85	1.89	0.60	2.35
Kurtosis	1.90	-0.39	2.98	4.08	5.08	3.43	-1.06	7.00	-0.06	3.05	1.43	0.97	0.14	1.22	-1.57
Skewness	-1.01	0.96	1.35	-1.93	2.05	1.53	0.86	2.65	0.19	1.07	0.80	1.04	-0.87	1.00	-0.02

층적층 지하수 내 질산염, 철, 망간의 농도 변화가 대수층의 지구화학적 환경에 의존됨을 확인하기 위하여 Eh 값은 물론 산화-환원반응에 민감한 다른 이온종들의 농도와 질산염 농도 사이의 상관성을 고찰하여 보았다. 산화환원전위와 질산성염은 정의 상관성을 보이고 있고 철의 경우는 역의 상관성을 망간의 경우 철과 같이 역의 상관성을 보여야 하나 미약한 양의 상관성을 보이고 있다(그림 3). 결국, 연구 지역 층적층 지하수의 산화-환원 전위는 산화-환원에 민감한 화학종들의 거동과 농도 변화에 중요한 역할을 하고 있으며, 또한 김해시 생림면 탄성지역은 질산염 뿐만 아니라 철과 망간을 환원시킬 수 있는 정도의 강한 환원환경에 놓여 있음을 알 수 있다. 또한 질산염과 중탄산염의 농도는 대체적으로 반비례 관계를 보여줌을 알 수 있다. 이는 유기물에 의한 탈질 반응을 지시할 수 있다.

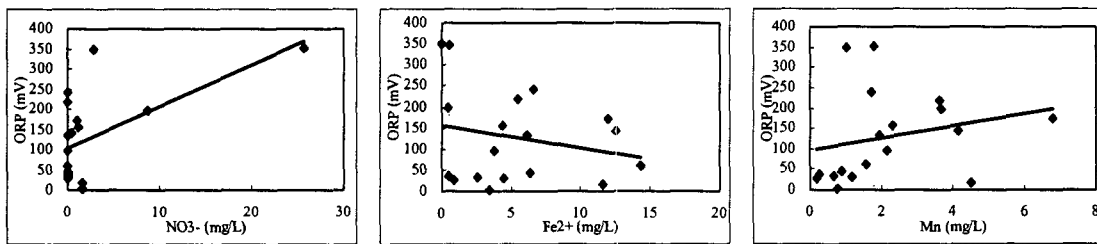


그림 3 본 연구 지역의 산화환원반응에 민감한 화학종과 산화환원전위와의 비교도표

김해시 생림면 탄성 지역이 낙동강의 하구지역으로서 과거 하구둑이 생기기전 해수에 의한 영향을 살펴보기 위해 자갈층에 설치된 관정에 대한 Na/Cl비를 고려하였다. 분석된 Na와 Cl을 각각 mmol로 환산하여 상관 그래프로 나타내어 보면, 해수의 영향을 받은 물들은 해수와 담수의 혼합선(mixing line)에 근접하게 된다³⁾. 하지만 총 7개의 시료 중 1개만이 해수의 물비인 0.85±0.1에 근접하는 것으로 조사되었다(그림 4). 혼합선의 위쪽에 점사되는 물은 해수에 비해 상대적으로

Na가 부화된 물로, 아래에 점사되는 물은 Cl이 상대적으로 부화된 것으로 판단한다. 따라서, 위쪽에 점사되는 물들은 Na의 공급 요인으로서 물-암석 반응 또는 인위적 오염의 영향을 고려할 수 있다. 본 연구지역의 자갈층 시료들은 대부분 혼합선의 위쪽에 점사되어 있는 것으로 보아 해수의 침투에 의한 영향보다는 물-암석 반응 등 다른 요인에 의한 영향을 세심하게 고려해야 한다.

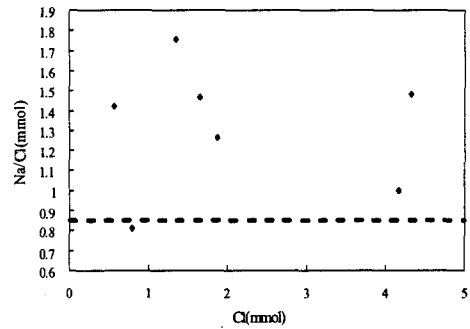


그림 4 Cl과 Na/Cl의 상관관계

3. 결론

강변여과 대상 지역 지하수에서는 강한 환원 상태로 침전 퇴적된 철/망간 산화물이 용존 상태의 철/망간으로 존재하는 것으로 밝혀져 음용수 수질기준에 10~20배 이상 초과하는 것으로 조사되었고, 질산염은 탈질반응에 의해 본 연구지역에서는 문제되지 않는 것으로 조사되었다. 하지만 지속적인 모니터링을 통한 계절별 수질변화를 관찰하고, 또한 강변여과 개발로 발생하는 수질 변화를 관찰하여야만 강변여과수 정수공정을 운영하는 데 있어 중요한 자료를 제공할 것으로 사료된다.

4. 사사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제 번호 3-4-2)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해준 사업단 측에 감사드립니다.

5. 참고 문헌

- 1) 김해시, 2003, 강변여과수 및 대체취수원개발 타당성조사 보고서
- 2) Pedersen, J.K., Bjerg, P.L., and Christensen, T.H., 1991, Nitrate reduction in an unconfined sandy and sediment characteristics in a shallow aquifer, Jour. Hydrology, v. 124, 263-277.
- 3) Banks, D., Reimann, C., Royset, O., Skarphagen, H, and Seather, O.M., 1995, Natural concentration of major and trace elements in some Norwegian bedrock groundwater. Appl. Geochem. 10, p. 1-16.