

경상북도지역 학교지하수 및 정수기통과수의 수질특성에 관한 연구

김숙찬 · 배현균^{1)*}

경상북도 보건환경연구원, ¹⁾계명대학교 환경대학 지구환경학과
(2010년 7월 14일 접수; 2011년 2월 16일 수정; 2011년 3월 16일 채택)

A Study on the Characteristics of Water Quality for Groundwater and Purified Water of Several Schools in Gyeongsangbukdo Province

Suk Chan Kim, Hun-Kyun Bae^{1)*}

Gyeongsangbukdo Government Public Institute of Health & Environment, Gyeongbuk 770-805, Korea

¹⁾*Department of Global Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea*

(Manuscript received 14 July, 2010; revised 16 February, 2011; accepted 16 March, 2011)

Abstract

This study characterized water quality of groundwater and purified water used for drinking water in 30 schools in Gyeongsangbukdo Province. The results of the study showed that 43% of groundwater and 45% of purified water were not suitable for drinking. Among them, microbial contaminations were the most serious problem. In raw groundwater, the exceeding rates of total colony counts was the highest in August (53.6%). Purified water samples showed higher rate of exceeding drinking water standard for total colony counts while showing lower rate of exceeding drinking water standard for total coliforms and fecal coliforms in March and August. Overall, proper managements for microbial contaminations are required for both groundwater and purified water. Furthermore, special attention should toward students not to drink water when groundwater or purified water exceeds the drinking water quality standard.

Key Words : Groundwater, Purified water, Water quality, Physicochemical parameter, Total coliform, Fecal coliform

1. 서론

지표수에 비해 기후적인 영향을 적게 받으며 상대적으로 안정적인 수자원을 공급할 수 있는 지하수는 그 중요성이 한층 더 높아져 우리나라 용수 총 이용량 1% (연간 37억 톤)를 차지하고 있으며 최근 환경오염의 영향으로 먹는물 공급원이 되고 있는 지표수의 확

보가 어려워 해마다 그 사용량이 증가하고 있다 (이 등, 2006; 이와 배, 2010). 경상북도의 경우 마을상수도와 소규모 급수시설의 78.6%가 지하수를 수원으로 사용하고 있다 (경상북도, 2006). 그러나 지하수 자원의 무분별한 개발, 산업활동에 따른 유기화학물질 오염증가, 축산폐수의 유출, 농지에서 배출되는 오염물질들로 인해 지하수가 오염됨에 따라 최근 지하수에 대한 관리가 수량확보의 개념에서 수질보전에 초점을 맞추어 가고 있어 오염지역에 대한 철저한 수질관리 대책 및 규제가 요구되고 있다 (양과 한, 2007).

*Corresponding author : Hun-Kyun Bae, Department of Global Environment, Keimyung University, Deagu 704-701, Korea
Phone: +82-53-580-5939
E-mail: hunkyunbae@kmu.ac.kr

오염된 지하수를 학교의 다수 학생이 사용했을 경우 수인성전염병을 일으킬 수 있는데 실제 지하수 중 노로바이러스에 의한 집단식중독사고사례 및 학교를 비롯한 집단 급식시설의 지하수 오염이 환경부에 의해 보고되었다(환경부, 2007). 또한 수도권 지역 학교의 정수기 부실관리 문제가 제기됨에 따라 각 시, 도에서 학교지하수의 음용수 관리부실로 학생건강이 크게 위협받고 있다는 지적이 계속되고 있다(연합뉴스, 2007). 경북도내 지하수 사용 학교에서도 학생들에게 공급하는 먹는물로 생수를 이용하거나 각종 정수기를 이용하여 음용하고 있어, 정수기의 안전성 및 미생물 검출에 대한 불안감이 증가하고 있다.

따라서 본 연구는 상수도시설의 미설치로 지하수를 학교급수로 사용하는 30개 학교지하수를 대상으로 지하수 수질특성, 오염상태 및 정수기 수질상태를 파악하여 먹는물 분야 정책기초자료로 활용하고 학생건강증진 향상에 기여하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상 및 시료준비

지하수를 학교급수로 사용하는 경북도내의 초, 중, 고등학교 121개 중 상수도 인입년도와 지역적 분포를 고려하여 16개 지역 30개 학교(Fig. 1과 Table 1)를 선정하여 조사하였고, 시료채취는 2007년 3월, 8월, 11월에 실시되었다. 채수로 인한 미생물 오염을 피하기 위해 화염소독을 하거나 알콜소독 후 5분 이상 방류한 뒤 4 ℓ의 물시료를 채취하였다.

2.2. 조사방법

수질분석 및 미생물검사는 먹는물수질공정시험법에 따라 분석하였고, 분석항목은 지하수 먹는물 수질 기준 46항목을 하였으며, 정수기통과수에 대해서는



Fig. 1. Sampling points.

미생물항목인 일반세균(Standard Plate Count), 총 대장균군(Total Coliforms), 분원성대장균군(Fecal Coliforms) 3항목을 분석하였다(환경부, 2008). 검사항목별 분석기기는 휘발성물질은 Purge & Trap 과 Gas Chromatography(HP 6890)를 사용하였고, 농약류분석은 Gas Chromatography (HP 6890)와 HPLC (Waters 2695)로 경상북도 보건환경연구원에서 분석하였다. 중금속류는 AA (Varian AA240FS)와 ICP (Perkim Elmer3300)를 사용하였으며, Ion Chromatography (Dionex ICS3000)를 음이온분석에 사용하였으며, 탁도와 pH는 탁도계(Hach 2100N)와 pH미터(Orion 265)를 이용하였다. CN, phenol, ABS는 Bran+Luebbe (Auto Analazer3)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 지하수 수질조사 결과

지하수 수질조사는 지하수 관정으로의 접근이 불가능하여 정수기 수질조사만 실시한 상주지역 초등학교 2곳과 연구기간 중 폐교가 된 예천 Y 초등의 11월 시료는 채취할 수 없어 총검사건수는 83건이었다. 이

Table 1. Sampling points

Region	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16														
School	PS J	HS J	PS A	HS H	PS A	PS B	HS Y	HS S	PS A	PS M	PS Y	PS Y	PS B	PS G	PS S	PS M	PS S													
Student No.	20	105	135	110	80	198	445	285	64	53	116	17	35	74	39	16	20	43	51	54	48	29	149	230	76	58	44	52	70	56

1, Pohang, 2, Gyeongju, 3, Gimcheon, 4, Andong, 5, Gumi, 6, Yeongju, 7, Yeongcheon, 8, Sangju, 9, Gunwi, 10, Uiseong, 11, Cheongdo, 12, Goryeong, 13, Seongju, 14, Chilgok, 15, Yecheon, 16, Bonghwa, PS, Primary School, MS: Middle School, HS, High School

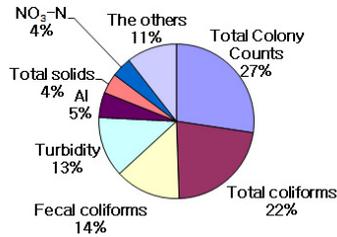


Fig. 2. Comparison of non-conformity cases by water quality items.

중 부적건수는 36건(43.3%)이었으며, 부적항목은 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 탁도, 알루미늄, 증발 잔류물, 질산성질소, 철, 보론, 경도, 황산이온, 색도였다. Fig. 2에서 보는 것과 같이 부적내역 중 일반세균 및 총대장균군과 분원성대장균군의 미생물항목이 전체 63%로 가장 많았고 탁도 13%, 알루미늄 5%, 증발잔류물과 질산성질소가 각각 4% 순이었다.

3.2. 수질항목별 수질특성

학교 지하수의 수질특성은 지역별로 지하수법에서 시행되고 있는 지하수 측정망 운영자료와 전국 각시도의 지하수의 먹는물 수질항목과 비교, 분석하고자 하였다. 수질항목별 특성은 먹는물 기준부적항목 중 부적율이 높은 항목을 중심으로 조사하였다. 또한 본 조사는 해당 지역의 1~2개 학교만을 선정하였으므로 이들 지점이 지역전체 지하수를 대표하기는 어려우나 지하수를 쓰는 학교의 평균수질을 파악하는데 참고자료가 될 것으로 사료된다.

3.2.1. 질산성질소

질산성질소의 농도가 수질 기준을 초과하는 경우 대부분은 10~25 mg/l 정도가 된다는 보고가 있었다 (Montgomery, 1985). 이번 조사에서 질산성질소는 농도 범위 0~17.4 mg/l, 평균 3.8 mg/l로서 2006년 전국 수질측정망 측정결과에서 나타난 일반지역의 질산성질소 평균값 3.6 mg/l와 비슷한 수준이었다 (환경부, 2007). 먹는물 수질기준 10.0 mg/l를 초과한 경우는 김천지역 A초등 (시료평균 17.4 mg/l) 한 군데로 이 학교의 높은 질소 농도는 농지로 둘러싸인 지리적 영향에 기인한 것으로 사료된다. 또한, 수질기준을 초과하지는 않았지만 시료 평균농도가 6~7 mg/l로 다소 높게 나타난 김천 B초등과 고령 U중학교 역시

이 두지역이 발농사나 과수재배를 위한 비료의 사용이 많은 것에 기인한 것으로 사료된다. 이러한 결과는 질산성질소의 주요 원인은 농작물 경작지에 기인한다는 보고와도 일치한다 (Saffigna와 Keeney, 1977).

3.2.2. 염소이온

염소이온은 수중에 용존하고 있는 염화물 중에 함유된 염소를 말하며, 수중으로의 침투경로는 해수, 지질의 영향, 산업폐수의 유입 등이 있고, 음용수에서 규제하고 있는 이유는 물에서 느낄 수 있는 맛 때문이다 (USGS, 2004; 김 등, 2006). USGS (2004)의 조사결과에 따르면 지하수 중의 염소농도는 지역이나 환경에 따라 10~500 mg/l로 매우 다양한 것으로 나왔고 본 조사에서는 염소이온의 범위가 0~128 mg/l로 USGS의 조사에 비해 상대적으로 낮은 농도를 보였다. 또한 모든 시료에서 국내음용수기준 250 mg/l를 초과하는 시료는 없었고 평균은 16 mg/l로서 전국 지하수측정망 조사결과와 평균값인 30 mg/l의 절반에 해당되어 조사대상 학교의 지하수에 있어 염소는 큰 문제가 없는 것으로 사료된다. 주목할 결과로는 해안 지역에 위치하여 해수의 영향을 많이 받을 것으로 사료된 포항 J초등에서 염소농도가 74 mg/l로 나타나 해수에 의한 영향을 보이지 않았으며, 이는 경상남도 지역의 지하수질 특성조사에서 해수의 영향을 상당히 받은 결과와 상반되었다. 따라서, 포항지역 전체의 염소이온농도가 포항 J초등의 결과와 동일할지에 대한 연구가 차후에 수행되어야 할 것이다 (김 등, 1998).

3.2.3. 경도, 증발잔류물

분석결과 경도의 농도범위는 7~1229 mg/l였고 평균치는 143 mg/l로서 먹는 물 수질기준인 300 mg/l의 절반 수준이었다. 수질기준을 초과한 고령 U중학교 시료는 평균 1161 mg/l를 나타내어 상당히 높은 수준이었다. 경도가 높은 물은 표토층이 두텁고 석회석이 형성되는 지역에서 발생한다는 보고를 고려하면 고령 U중학교 주변의 지하암석과 토양에서 용해되어 나오는 것으로 사료된다 (김 등, 2001).

증발잔류물의 농도범위는 11~1869 mg/l, 평균 272 mg/l로서 전체 시료 중 5건이 수질기준치를 초과하였고 이 중 포항 J초등 및 의성 S초등 8월 시료가 기준치를 상회하였으나 평균치는 기준치 이하였다. 반

면, 고령 U중학교의 경우 3번의 시료 모두 1600 mg/ℓ를 넘어 경도와 마찬가지로 최고치를 나타내었다. 이는 경도와 증발잔류물에 높은 상관관계가 있다는 Gitanjali (2010)의 보고와 일치하는 결과였다.

그 외 수질항목의 전체 시료 평균치는 각각 pH 7.2, 과망간산소소비량 0.9 mg/ℓ, 아연 0.065 mg/ℓ, 알루미늄 0.07 mg/ℓ, 보론 0.11 mg/ℓ로 양호한 것으로 나타났다.

3.2.4. 미생물지표

학교지하수 원수 83건 중 일반세균이 먹는물 기준 (100 CFU/ml)을 초과한 곳은 24건(28.6%)이었다. 일반세균의 경우, 평균 710 CFU/ml로 전국지하수측정망 일반지역의 일반세균 평균치 35 CFU/ml보다 훨씬 높게 나타났다. 총대장균군의 부적건수는 23건, 분원성대장균군도 13건이 검출되어 물리화학적 인자에 비해 미생물지표에 대한 부적율이 상당히 높아 지하수 원수의 미생물에 의한 오염이 심각한 수준임을 알 수 있었다. 미생물에 의한 지하수의 오염, 특히 농촌지역은 대부분이 정화조의 균열에 의한 것이라는 보고에 비추어 볼 때 본 연구 대상 학교들 역시 주변 지역 또는 학교자체의 정화조가 균열되어 지하수로 분변성오염물질이 침투했을 가능성을 배제할 수 없다 (Conboy와 Goss, 2001; Scanduraa와 Sobseya, 1997). 또한, 환경부의 조사에 따르면 지하수오염의 대부분은 관정시

설이나 위생관리의 부실임을 지적한 바, 국내외의 보고들을 종합했을 때, 미생물지표가 기준치를 초과한 학교들은 향후 학교지하수 원수의 소독, 살균처리 및 지하수 시설물관리에 세심한 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다 (환경부, 2010). 미생물 오염에 대한 또 다른 결과는 부적건수의 대부분이 8월 시료에 집중되어 있으며 3월 및 11월 시료의 경우 기준치를 초과하였더라도 8월 시료와 비교했을 때 2~50배의 농도차를 보임으로 여름철 지하수원수의 미생물의 오염이 심각함을 알 수 있었고 이는 여름철 지하수의 미생물 오염은 경우에 크게 영향을 받는다는 Lamka 등 (1980)의 보고에 비추어 볼 때 여름철, 특히 6-7월의 장마에 큰 영향을 받았을 것으로 사료된다. 이에 지하수원수의 효율적인 관리를 위해서 장마철 직후 지하수에 대한 집중적인 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

3.2.5. 탁도 월별 수질변화

학교지하수 원수 중 탁도기준을 초과한 학교는 6곳으로 탁도의 월별변화를 보면 하절기인 8월이 3월과 11월보다 높았던 학교가 3곳으로 지하수의 8월 탁도 변화가 다른 지역보다 크게 나타났다. 탁도 역시 미생물에 의한 오염과 마찬가지로 여름철 장마가 지하수에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 대부분의 분변성 미생물은 수중의 미세입자에 부착하여 생존한다는 보

Table 2. Comparison of water quality between before and after purifier

Division	Hardness	Total solids	KMnO ₄	NO ₃ -N	Cl ⁻	F ⁻	Fe	Zn	Al	Turbidity
Raw groundwater	122	223	2.3	4.1	13	0.2	0.08	0.170	0.07	0.85
Purified water	25	19	0.3	0.2	2	0	0	0	0	0.07
Removal efficiency(%)	79.5	91.5	87.0	95.1	84.6	100	100	100	100	91.7

Table 3. Monthly change of No. of exceeded samples of raw water & purifier water

Month	Division	No. of samples	No. of exceeded samples(%)		
			Total Colony Counts	Total coliforms	Fecal coliforms
Mar.	Raw groundwater	28	4(14.3%)	2(7.1%)	0(0.0%)
	Purified water	49	19(38.8%)	0(0.0%)	0(0.0%)
Aug.	Raw groundwater	28	15(53.6%)	13(46.4%)	11(39.3%)
	Purified water	43	27(62.8%)	2(4.7%)	1(2.3%)
Nov.	Raw groundwater	27	7(25.9%)	6(22.2%)	2(7.4%)
	Purified water	44	11(25.0%)	2(4.5%)	0(0.0%)
Total		219	83(37.9%)	25(11.4%)	14(6.4%)

고처럼 본 연구에서도 8월 중 높은 농도의 탁도와 미생물의 상관관계를 보여 주었다 (Steets와 Holden, 2003). 따라서 높은 농도의 탁도는 미생물의 번식을 촉진할 뿐만 아니라 소독효과를 방해하기 때문에 탁도기준을 초과하는 학교들은 반드시 정수처리를 거쳐 탁도를 낮추어야 될 것으로 사료된다.

3.3. 정수기사용에 따른 수질변화

3.3.1. 정수기 통과수 수질조사 결과

조사 대상학교 중 정수기를 사용하는 학교는 전체 대상 학교 중 77%에 해당하는 23개였고 학교별로 각기 다른 회사의 정수기를 사용하는 경우도 있었으나, 관리는 모두 구입처나 렌탈업체에서 하고 있었으며, 필터교환 및 점검 주기는 1~2개월이었다.

정수기통과수의 경우 총검사항목 136건 중 미생물 항목의 부적건수는 62건(45.5%)이었다. 건강상 유해 영향 유기물질인 농약류 4종, 휘발성 물질 10종과 건강상 유해영향 무기물질인 중금속6종, 시안, 페놀, 세제 등은 모든 시료에서 검출되지 않았다. 정수기 통과 전후의 수질 비교결과는 Table 2에 나타내었고 지하수원수의 수질항목수치는 지하수원수수질의 대표값이 될 수 있다고 판단되는 평균수질치와 비슷한 값을 찾아 실제 정수기통과수에는 얼마나 나오는지 나타내었다. 수질항목별 정수기 통과전후는 정수기성능에 따라 얼마든지 다르게 나타날 수 있다.

3.3.2. 정수기 통과 전후의 미생물초과건수

시기별 변화정수기통과전후의 미생물결과는 총 219시료 중 일반세균 83건(37.9%), 총대장균군 25건(11.4%), 분원성대장균군 14건(6.4%)이 부적합으로 나타났으며, Table 3의 시기별 정수전후 미생물결과를 보면, 지하수 원수 일반세균의 경우는 14.3%(3월), 53.6%(8월), 25.9%(11월)로 8월의 하절기에 기준초과시료가 많았음을 알 수 있었고, 총대장균군과 분원성대장균군도 유사한 결과를 나타내었다. 하절기인 8월이 기준초과시료가 많은 것은 하절기학교방학으로 장시간 정수기를 사용하지 않고 미생물이 성장하기 좋은 온도를 유지했기 때문으로 사료된다. 지하수원수와 정수기통과수의 부적건수를 비교할 때 정수 후 정수기통과수의 미생물부적수에 대해 3월과 8월 일반세균은 정수 후 기준초과건수가 증가하였으며, 총대

장균군과 분원성대장균군은 정수 후 기준초과건수가 낮아진 것으로 나타났다. 본연구에서 일반세균이 초과된 정수기통과수는 총 136건 중 57건(41.9%)이었다. 이 결과는 2006년 부산시 보건환경연구원의 이등(2006)이 다중이용시설의 정수기물 조사한 결과인 52.6%(374건)의 초과율보다 낮았으며, 2003년 경기도 보건환경연구원에서 박(2003)이 학교와 대중음식점을 대상으로 조사한 정수기물의 21.9%(169건)기준초과율과 비교하면 20%정도 높은 결과를 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 경상북도 내 지하수를 먹는 물로 이용하는 30개소 학교지하수 및 정수기통과수에 대한 수질특성을 조사하였다. 조사결과 43%의 지하수가 먹는물로서 부적합 했었고 정수기의 경우에도 45%가 먹는물로서 부적합한 결과를 보여 주어 학교지하수가 안전하지 않음을 알 수 있었다. 특히 부적합한 결과를 보여준 샘플 중 63%가 미생물에 의한 오염에 노출된 것으로 나타남으로 원수에 대한 소독이나 살균처리 및 지하수 시설물관리에 주의를 기울여 미생물에 대한 오염을 차단하는 방안을 강구해야 할 것은 물론이고 학생들이 실수로 먹는물로서 부적합한 물을 마시는 일이 없도록 지도를 병행해야 할 것으로 사료된다. 정수기통과수의 경우 물리화학적 인자에 대해서는 안전함을 보여준 반면 지하수와 마찬가지로 전체시료의 42%가 미생물에 의해 오염된 것으로 나타났다. 특히 정수기통과수의 오염은 정수기를 장시간 사용하지 않는 학교 방학기간 중이 가장 심했으므로 방학기간 중 정수기의 관리에 특히 신경을 써야 할 것이며 개학 전후를 중점적으로 관리해야 할 것이다. 즉, 정수기 관리는 1개월 주기의 필터교체, 정수기주변청소철저, 장기간 사용하지 않을 경우 물을 완전히 배수시키고 깨끗이 세척하여 보관, 매일 정기적인 미생물 검사 후 정수기 옆에 시험성적서를 붙여 공지해야만 할 것으로 사료된다. 미생물 오염에 대한 관리를 철저히 하는 것이 수질관리에 단기적인 효과를 가져 올 수 있을 것이며 장기적으로는 향후 도내 학교에서 학생들이 쓰고 마시는 음용수는 관리와 안전성을 위해 지

방상수도가 우선적으로 보급되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

- 경상북도, 2006, 소규모수도시설 개선대책, 1.
- 김승현, 이찬원, 허종수, 1998, 경상남도 지역의 지하수 질 특성조사, 한국환경과학회지, 7(6), 859-865.
- 김연희, 정동원, 박강수, 정숙경, 안상수, 이윤국, 백계진, 윤 욱, 김동수, 2006, 광주지역 빗물과 지하수 수질 특성에 관한 연구, 광주시 보건환경연구원보, 9, 181-211.
- 김종수, 이기종, 최일우, 이진경, 성연국, 홍순모, 원종무, 김은아, 2001, 도내 학교급수의 수질특성에 관한 연구, 경기도보건환경연구원, 14, 113-120.
- 박용배, 2003, 경기북부지역의 정수기물 관리실태조사, 대한위생학회지, 18(1), 1-7.
- 양성기, 한상철, 2007, 제주도 지하수관정의 오염저감방안, 한국환경과학회지, 16(6), 735-743.
- 연합뉴스, 2007, 농·어촌지역 부적합식수 공급받는 초등학교 증가 안전한 상수도 공급 시급, 2007년 10월 26일.
- 이민효, 최상일, 이재영, 이강근, 박재우, 2006, 토양지하수환경, 동화기술, 17.
- 이승민, 정승열, 김현실, 임효상, 김효진, 전대영, 이경심, 2007, 부산지역 다중이용시설의 정수기물에 대한 미생물 오염실태 조사연구, 부산시보건환경연구원보, 16(1), 121-126.
- 이승현, 배상근, 2010, 도시화에 의한 장기 지하수 함양량 변화, 한국환경과학회지, 19(6), 779-785.
- 환경부, 2010, 2009년 지하수 수질측정망 운영결과, 7.
- 환경부, 2008, 수질오염공정시험기준, 378-392.
- 환경부, 2007, 지하수중 노로바이러스 관리대책(안), 4-8.
- Conboy, M. J., Goss, M. J., 2001, Identification of an assemblage of indicator organisms to assess timing and source of bacterial contamination in groundwater, Water, Air, and Soil Pollution 129, 101-118.
- Gitanjali, 2010, Evaluation of environmental status of courtallam water, Chapter 10. Ground Water Quality in Courtallam area, Master Thesis, Salim Ali School of Ecology and Environmental Sciences Pondicherry University, 171-192.
- Lamka, K. G., LeChevallier, M. W., Seidler, R. J., 1980, Bacterial Contamination of Drinking Water Supplies in a Modern Rural Neighborhood, Appl. Environ. Microbiol., 39(4), 734-738.
- Montgomery, J. M., 1985, Water Treatment Principles and Design, John Wiley & Sons, Inc, 327-330.
- Saffigna, P. G., Keeney, D. R., 1977, Nitrate and Chloride in Ground Water Under Irrigated Agriculture in Central Wisconsin, Ground Water, 15(2), 170-177.
- Scanduraa, J. E., Sobseya, M. D., 1997, Viral and bacterial contamination of groundwater from on-site sewage treatment systems, Water Science and Technology, 35(11-12), 141-146.
- Steets, B. M., Holden, P. A., 2003, A mechanistic model of runoff-associated fecal coliform fate and transport through a coastal lagoon, Wat. Res. 37, 589-608.
- USGS, 2004, Arsenic, Nitrate, and Chloride in Groundwater, Oakland County, Michigan, Fact Sheet 2004-3120, U.S. Geological Survey, Water Resources Division, 1-6.