

강원도 농업소유역의 지하수 및 지표수 수질의 계절적 변화에 관한 연구

Groundwater and Small Stream Water Quality Changes of Rural Watersheds in Kangwon-do

최 중 대 · 이 찬 만* · 김 도 환
Choi, Joong Dae · Lee, chan man · Kim, Do Hwan

Abstract

Flow rate, watertable and selected water quality of 2 small rural streams and 6 observation well located in Kangwon-do, Korea, were monitored land use of the watersheds was investigated to describe the trend of stream water quality for 2 years and groundwater quality for 1 year. Water qualities were analyzed with respect to BOD, SS, T-N, Nitrate, T-P and E-coli. Stream water quality and groundwater quality directly concerned with the amount of rainfall and paddy fields. but water quality of watersheds is existed with other factor. Therefore, We have to continued monitoring and developing the best management practice.

I. 서 론

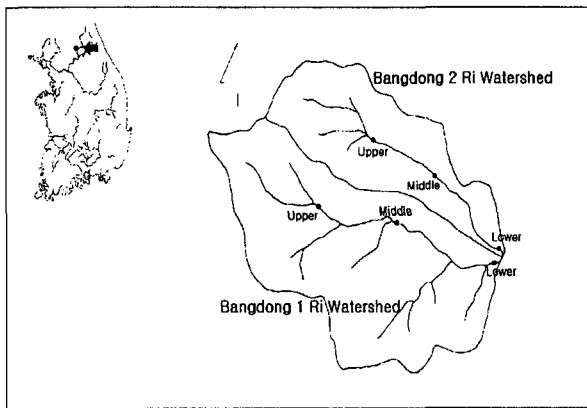
우리나라의 산업은 급속한 성장을 이루어 왔다. 산업발달은 오염배출량을 증가시켰고 이로 인한 자연환경파괴는 생태계파괴는 물론 인간생활 조차도 위협하게 되어 이제는 우리나라에서도 환경문제가 큰 사회문제로 대두되고 있다. 이러한 시점에서 수자원에 대한 중요성 인식은 매우 높아지고 있다. 한강을 비롯한 우리 나라 대부분의 하천은 지속적인 오염물질의 유입으로 수질은 점점 더 악화되고 있다. 북한강 상류에 위치하여 가장 청정하다는 소양댐 상류에서 녹조가 출현하고 있고 팔당호 등의 인공호수는 수질악화의 심각성이 최고조에 달해있다. 하천에 유입되는 영양물질원은 점원 및 비점원 오염물질로 인해 발생된다. 비점원오염은 산업폐수와 도시생활오수로 대표되는 점원오염이 아닌 곳에서 발생하는 모든 오염을 지칭하며, 구체적으로는 농가가축 폐기물, 농촌의 생활하수, 농경지와 영농활동, 도로 및 주거지 등에서 발생하는 오염이다. 비점원오염의 대표적인 오염물질은 부유토사, 총질소, 총인 등으로 농업지역에서 많이 발생되고 있다. 총인과 총질소를 포함한 영양물질들은 농경지에 시비한 화학 및 유기질 비료의 직접유출에 의하거나 혹은 토사에 흡착되었다가 강우시 토사의 유실과 함께 하천 및 지하수로 유입된다. 미국 EPA (Environmental Protection Agency, 1989)의 보고에 의하면 비점오염이 미국의 河川 (Estuary), 호수 및 강으로 유입되는 총오염물질의 각각 45%, 76%, 및 65%를 차

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

지한다. 이 비점원오염물질중 영농활동으로 인한 오염이 가장 높아 호수의 경우는 57%, 강의 경우는 64%를 차지하고 있다. 그리고 미국 Pennsylvania의 동남부 지역의 우물수질에 대한 조사연구에서 약 28%의 우물이 EPA에서 식음료 기준으로 정한 질산성 질소(NO₃-N) 농도 10mg/L를 초과하여 식수로 사용될 수 없다는 판정을 받았다(Weidner, 1988). 우리나라 환경부(1995)의 비점원오염 연구용역에 의하면 우리나라의 수계로 유입하는 총오염원중 비점원오염이 차지하는 부하량은 SS 54.7%, BOD 16.1%, T-P 26.2% 그리고 T-N 50.4%로 나타났다. 따라서 우리나라도 수자원의 수질을 효율적으로 보호하기 위해서는 비점원오염을 반드시 통제 할 수 있어야만 한다.

대구역의 수질보전을 위해서는 소유역에 대한 기초적인 자료를 구축해야 한다. 소유역의 농업지역을 대상으로 한 비점원오염 연구의 궁극적인 목적은 농경지와 농업활동에서 발생하는 비점원오염이 유역의 수질에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 이를 위하여는 장기적인 유역과 수질 모니터링을 통하여 주요한 비점원오염원을 찾아내고 수질오염에 미치는 우선순위에 따라 오염원을 통제하는 기술을 개발하고 보급할 수 있어야 한다. 본 연구는 이러한 연구목적에 바탕으로써 1)전통적인 2군데의 강원도 농촌소유역에서 하천수(2년)와 지하수(1년)의 수질을 모니터링하여 수질자료를 구축하고, 2)얻어진 수질자료의 계절적 및 연간 변화양상을 조사하고, 3)유역의 수질에 주요한 영향을 미치는 지표수와 지하수의 비점원 오염원을 기술하는 것이다.

II. 재료 및 방법



2.1) 유역의 특성 조사

본 연구의 시험유역으로 강원도 춘천시 서면 방동 1리와 2리 유역을 선정하였다. 방동리 유역은 춘천시 도심과 약 7km 떨어진 그린벨트내에 위치하며, 유역의 면적은 13.8km²이다. 본 유역은 해발 500m 내외의 산과 능선으로 둘러싸여 있다. 방동리 유역은 논농사와 밭농사 중심의 전혀 도시화가 이루어지지 않은 전형적인 강원도의 농촌 마을이다. 마을의 한 가운데로 각각 1개의 하천(방동1천, 방동2천)이 흐르고 있으며 이

하천들은 유역 하류에서 하나의 하천으로 합류하여 북한강에 건설된 의암호로 배수된다. 하천의 유로연장은 약 5km이다. 방동리 유역은 전반적으로 西高東低의 계란형으로 지형에 따라 방동1리와 2리의 유역으로 구분된다. 시험유역의 지질은 중생대 쥐라기에 형성된 흑운모 화강암이 많으며 불규칙 節理 및 龜裂(균열)이 많은 파쇄대층과 화강암 풍화대가 발달되어 있다. 방동1리와 2리는 마을의 규모와 영농활동이 비슷하여 Clausen(1991)이 지적한 대로 비점원오염의 비교분석에 많은 장점을 지니고 있다.

연구유역의 가축사육두수, 가축밀도, 논 면적, 밭 면적, 산림 면적, 각종 비료 및 농약의 사용량 등을 조사하였다. 또한 배수로의 길이, 배수로를 통한 오염물의 배출량 등을 측정하였으며

농가의 편의시설에 대하여도 정밀조사를 하였다.

2.2) 관측지점의 선정과 수질시료의 채취 및 분석

하천수의 관측지점은 방동1천과 방동2천의 상류, 중류 및 하류부에 각각 한지점씩 정하였고 지하수의 관측점은 방동1리 4반의 약 15호의 농가가 있는 곳에 6개의 관측점을 선정하였다. 하천수의 수질시료채취시는 유량을 함께 측정하였고, 지하수 수질채취시는 지하수위를 측정하였다. 그리고 각각의 시료채취시에는 현장에서 온도를 측정하였다. 유량은 자기유속계로 유속을 측정한다음 단면을 측량하여 구하였고, 지하수위는 지하수위 측정기로 측정하였다. 각각의 시료채취는 약 2주일 간격으로 이루어 졌다. 시료의 양은 약 3000ml를 채취하였고 시료채취 즉시 얼음으로 충전된 ice box에 보관하여 강원대학교 농과대학 공동실험실로 운반하여 환경부제정 수질공정시험법과 Standard Methods for the Examintion of Water and Wastewater에 준하여 수질분석을 하였다. 지표수는 BOD, 총부유물질, 총인, 총질소, 질산성질소 및 대장균에 대하여 분석하였고, 지하수는 총부유물질과 BOD를 제외하고 지표수와 동일하게 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1) 유역의 특성

조사 항목	방동 1리	방동 2리
유역면적 (km ²)	9.2	4.6
농가호수 (호)	95	74
인구 (명)	368	271
논 (ha)	57.5	52.6
밭 (ha)	58.0	49.0
소	562	418
개	123	112
농약 사용량 (kg/yr)	6,060	5,623
비료 사용량 (ton/yr)	91.5	89.5

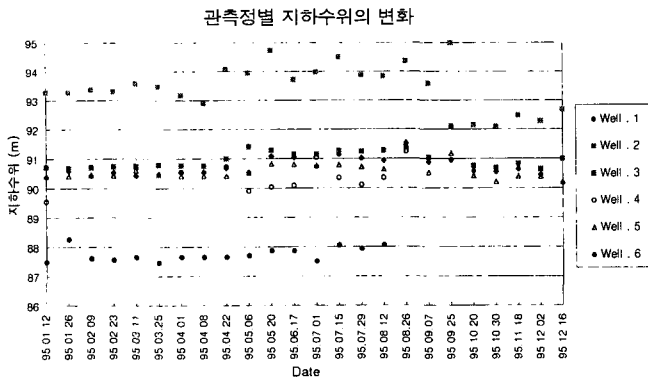
3.2) 기상자료

유역의 강우자료는 유역으로부터 약 6km 정도 떨어져 있는 춘천기상대 자료를 사용하였다. 연구기간중 연강수량은 1995년에 1593.1mm 그리고 1996년에 1185.7mm로 95년의 강수량이 96년의 강수량보다 407.4 mm 가 많았다.

3.3) 유출량의 측정

건기나 장기간동안 강우가 없을 때는 유역면적이 넓은 방동1천에서 약간 많은 유출량을 보였다. 그러나 유역면적이 약 2배정도 큰 방동1천이 방동2천 보다 유출량은 크게 많지 않았다. 이는 방동1천은 하상의 퇴적깊이가 깊어 복류수로 유출되는 유출이 방동2천 보다 많기 때문인 것으로 생각된다. 복류수 유출을 제외한 지표유출량은 유효강우가 매우 작았던 12월과 1월에 약 0.000-0.007m³/sec (0-605m³/day)로 매우 작았다. 유량측정지점에서는 하천유출이 없었어도 복류수를 통한 유출이 있기 때문에 하천의 중간 중간에서는 하천 흐름이 있었다. 방동1천과 2천 모두 아주 심한 가뭄시를 제외하고 중하류부에서는 항상 물이 흐르는 하천이다. 복류수 유출을 제외한 건조기 하류지점에서의 유출량은 약 0.012-0.021m³/sec로 매우 작았다. 우기에는 유역면적이 넓은 방동1천이 방동2천보다 많은 유량을 보였다.

3.4) 지하수위 조사

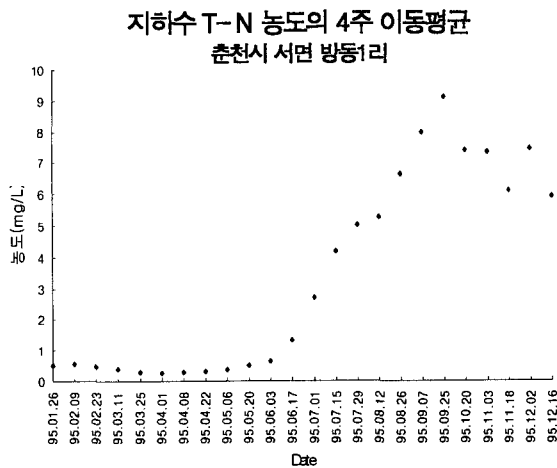


영농기인 여름과 농한기인 겨울의 지하수위의 차이가 분명하였고 지하수위는 관측정 상류부의 논의 담수와 관계가 있었다. 지하수위가 강우량과 밀접한 관계가 있다면 강수의 다소에 따라 지하수위의 변동이 관측되어야 하나 강우와 지하수위의 변동과는 상관이 작은 것으로 나타났다. 지하수위는 모내기가 끝난 후 상승하여 추수 후에 저하하는 것으로 나타났다. 영농기와 농한

기의 최고 및 최저 지하수위의 차이는 고지대에 위치하는 관측정2에서 291cm로 가장 컸으며 관측정6에서 80cm로 가장 작았다. 다른 관측정의 최고와 최저 지하수위차이는 110~169cm 정도였다.

3.5) 수질 분석 결과

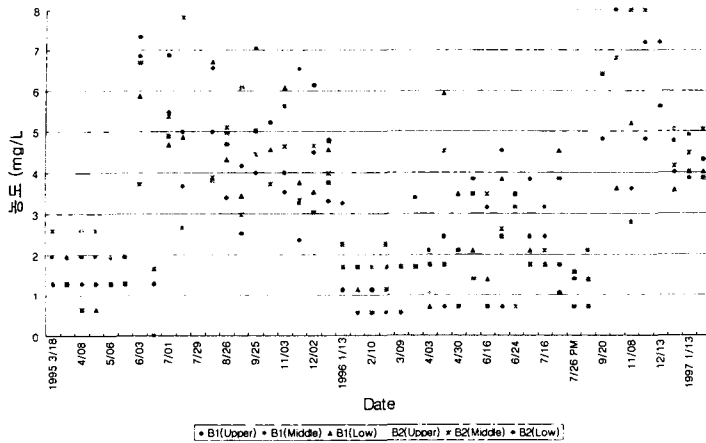
3.5.1) BOD : BOD는 방동1천과 2천의 각 수질측정 지점마다 총 46회씩 276회 측정되었으나 지하수의 BOD는 측정하지 않았다. 하천수의 BOD가 0.5mg/L 이상인 경우는 방동1천에서 14회, 그리고 방동2천에서 18회만이 측정되었다. 나머지 수질시료에서의 BOD 값은 0.5 mg/L 이하이거나 0으로 측정되었다. 건기나 평시의 BOD는 유역에 많은 가축이 사육되고 있었음에도 불구하고 1급수의 수질을 대부분 유지하고 있었다. 이는 축산분뇨 및 생활하수의 대부분이 토양으로 침투하여 자정작용을 받은 후 유입되기 때문인 것으로 생각된다.



3.5.2) SS : 강우로 인하여 하천유출량이 증가하지 않는 한 SS의 농도는 상수원수 1급수 수질기준인 25mg/L 이하의 맑은 물을 유지하였다. 건기나 평시의 SS 농도는 0.0-10mg/L 이하의 맑은 물을 보였으나 홍수시에는 최대 703.0mg/L까지 측정되었다. 지하수의 SS농도는 측정하지 않았다.

3.5.3) 총질소 (T-N) : 하천수의 총질소 농도는 분산이 다소 크기는 해도 계절에 따른 변화양상을

방동1천 및 방동2천의 2년간 총질소 농도변화



잘 나타내고 있다. 1차년도는 방동1천이나 2천 모두에서 봄철 총질소의 농도는 낮았으나 6월 중순 이후 증가하여 높은 농도를 유지하다 1월 중순에 감소하였고, 2차년도에는 1월 중순 이후 낮은 농도를 유지하던 총질소는 6월 초순 이후에 증가하여 1월 중순까지 높은 농도를 유지하였다. 따라서 총질소 농도의 변화양상은 1월 중순부터 6월 중순까지는 비교적 낮았고 6월 하순

부터 1월 초순까지는 비교적 높은 농도를 보이는 주기성을 갖고 있다고 볼 수 있었다. 지하수의 총질소 농도는 모내기 후 6월 중순부터 상승하여 높은 농도를 보이다 1월 중순경에 하강하는 것으로 나타났다. 총질소의 농도는 지하수위가 상승하고 약 1내지 2주일 정도 시간이 경과한 후부터 증가한 반면에 가을철 낙수후에는 지하수위가 저하되었어도 총질소의 농도는 낮아지지 않고 1월 중순까지 고농도를 유지하는 것으로 나타나 하천수의 총질소 농도와 비슷한 경향을 보였다.

농촌지역의 하천과 지하수의 총질소 농도의 변화는 강우량과 비농사와 연관을 지어서 해석할 수 있다. 2월에서 5월까지 각종 퇴비의 시비와 함께 모내기 준비와 논외 담수가 이루어진다. 담수 된 논으로부터 지하침투가 발생하여 지하수위를 높이고 침투수와 함께 지하수로 유출된 각종의 영양분이 지하수와 함께 하천으로 유입하여 하천의 총질소 농도를 높이기 때문인 것으로 생각할 수 있으며 이는 하천과 지하수 총질소 농도의 변화경향이 매우 비슷하다는 것으로 입증될 수 있다.

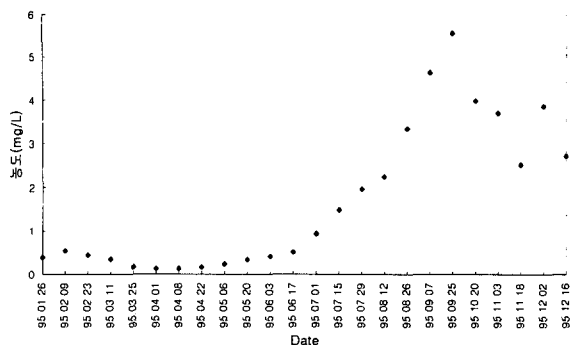
3.5.4) 질산성 질소 (NO₃-N)

하천수의 질산성 질소 농도의 측정범위는 특이값을 제외하면 0.0-3.718mg/L였으며 대부분의 농도는 1.0mg/L 보다 작았다. 특이값은 샘플링시나 분석시에 오차가 발생하여 생긴 것으로 추정된다. 질산성 질소 농도의 변화폭은 다소 크게 나타나서 어떠한 유의적인 차이를 발견할 수 없었다.

지하수의 질산성 질소 농도는 6월말부터 증가되기 시작하여 1월 중순에 감소하는 경향을 보였다. 1월 중순부터 6월말까지의 농도는 0.02-1.23mg/L였고 7월부터 1월초까지는 0.13-8.31mg/L였다. 각 관측정 별로는 깊은 관측정에서 측정된 질산성 질소의 농도가 얇은 관측정에서 측정된 농도보다 낮게 측정되었다.

하천수의 질산성 질소 농도의 연간변화양상은 다소 차이를 보였으나 방동1천과 2천은 동일한 양상을 보였다. 1차년도에는 질산성 질소 농도의 증가시기가 총질소의 농도 증가보다 약 2주일 정도 시차를 두고 늦게 시작된 점에서 차이가 있었다. 또한 질산성 질소의 농도변화는 총

지하수 NO₃-N 농도의 4주 이동평균
춘천시 서면 방동1리



질소의 농도변화보다 다소 크게 나타났지만 기본적인 변화경향은 비슷하였다. 따라서 유기물이 질산성 질소로 분해되는데 걸리는 시간 때문에 질산성 질소 농도의 상승시기가 총질소에 비하여 다소 늦은 것으로 해석하였다. 그러나 2차년도에는 변화양상이 다르게 나타났다. 1차년도와 2차년도의 영농활동, 비료와 퇴비의 사용량 및 유역의 토지이용에는 차이가 거의 없었다. 다만, 연강유량과 온도의 차이가 상당하였다. 이

는 하천수 수질에 미치는 영향 중 강우, 온도 및 토양중의 미생물의 유기물 분해능력이 중요한 인자로 작용할 수 있다고 판단된다. 다른 원인에 의하여 차이가 발생했다면 방동1천과 2천의 변화양상이 달라야 하나 두 하천의 농도변화양상이 동일하여 다른 원인 때문에 다르다고 말하기는 매우 어렵다.

3.5.5) 총인 (T-P)

하천수의 총인 농도 변화양상은 불규칙하나 두 하천에서 모두 총인의 농도는 동절기인 1월에서 3월에 가장 높게 나타났다. 특이값을 제외한 총인 농도범위는 0.0-2.410mg/L 였다.

지하수의 총인농도는 관측정별로 또한 측정일자별로 매우 심한 변화를 보였으나 일반적인 경향은 6월에서 8월사이 작물의 성장이 왕성한 시기에 낮은 농도를 보였고 겨울의 농반기에는 비교적 높은 농도를 나타냈다. 측정된 총인농도의 범위는 0.0-2.06mg/L였으나 대부분의 농도는 0.7mg/L이하였으며 많은 경우는 0에 가까운 측정치를 보였다.

하천수의 총인농도변화는 1차년도와 2차년도에 다소의 변화가 있었다. 방동1천 상류수질은 3월부터 5월까지 1차년도와 2차년도의 총인농도가 비슷하였으나 7월부터 1월까지 2차년도에 다소 높게 나타났다. 중류수질과 하류수질도 비슷하게 나타났으며, 방동2천의 경우도 동일하게 관측되었다. 유역의 토지이용이나 영농방법의 변화가 1차년도와 2차년도에 차이가 나지 않기 때문에 총인농도가 다르게 측정된 이유는 명확하지 않다. 다만 질산성질소와 마찬가지로 5mm 이상 유효 강수량의 차이가 있었고 온도의 변화가 있었다. 총인농도변화를 강수량의 차이로 설명하기는 부족하며 총인 농도의 변화양상을 정립하기 위하여는 보다 장기적인 모니터링이 필요하다고 사료된다.

IV. 종합고찰

본 연구에서 나타났듯이 농촌에서 비농사와 여름철의 강우는 지하수 수질과 하천수질에 직접적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 비농사와 동시에 상승한 각 오염물의 농도 상승분이 비농사에 의하여 발생하는 수질오염에 미치는 영향이 된다. 그러나 여름에는 비도 많이 오므로 논, 담수와 강우가 각각 얼마만큼의 영향을 미치는지는 아작도 알 수 없다. 연구대상유역의 생활환경과 축산현황이 크게 변하지 않는다면 봄에 나타나는 각 오염물질의 농도에서 자연의 수질농도를 뺀 차이가 이들의 영향으로 볼 수 있다.

유역의 수질에는 다양한 유역의 구성요소가 서로 상호작용하고 있기 때문에 유역을 기능별로 구분하여 각 기능에 맞는 관리방법을 개발하고 동원하여 종합적인 유역관리가 이루어져야 효과적으로 수질을 개선할 수 있고 또한 오염원의 통제방법을 효과적으로 개발할 수 있을 것이다.

V. 결 론

- 1) 갈수기 연구유역의 유출량은 약 0.0239 L/sec · ha 였으며 지하수위는 벼농사를 위한 담수와 밀접한 관계가 있었다. 지하수위는 5월초에 상승하여 9월말에 감소하였다.
- 2) 방동1천과 방동2천의 평 · 갈수기의 BOD와 SS는 하천수질 1등급의 수질을 유지하였으나 홍수기 등의 풍수기에는 다소 증가되는 경향을 나타냈다.
- 3) 지하수와 하천수의 총질소 농도의 변화양상은 매우 비슷하여 평 · 갈수기시 하천의 총질소농도는 지하수의 총질소 농도에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.
- 4) 지하수의 총질소와 질산성 질소의 변화양상은 비슷하였다. 총질소 농도는 지하수위가 상승된 후 약 2주일 후에, 그리고 질산성 질소 농도는 약 3에서 4주후에 상승하였으며 농도의 감소는 1월 중순에 나타났다.
- 5) 2년동안 모니터링한 총질소 농도의 연간변화는 다소 차이는 있었어도 기본적인 변화양상은 비슷하였으나 질산성 질소의 연간변화는 상당한 차이를 나타내어 보다 장기적인 모니터링 연구가 필요하다.
- 6) 하천과 지하수의 총인 농도는 일반적으로 7월과 8월 작물이 왕성하게 생육하는 기간에 가장 작게 나타났으며 동절기에 높게 나타났다. 홍수기를 제외한 평수기에 하천수 및 지하수의 총인농도 변화양상이 비슷하여 하천의 총인농도는 지하수의 농도에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

VI. 참고문헌

1. 권순국, 유명진, 1992. 농어촌 용수 환경 관리에 관한 연구. 최종 보고서. 서울대 농업생명과학대 부속 농업개발연구소.
2. 최예환, 최중대, 유능환. 1994. 토지이용 변화에 따른 수질특성 변화 연구. 제36회 수공학연구 발표회 논문집. 한국수문학회. pp.159-166
3. 최중대. 1996년 강원도 농촌유역의 지하수 수질과 하천수질. 1996년 한국농공학회 국제심포지엄 및 학술발표회 논문집. p:79-85
4. Choi, J. D. and Y. H. Choi. 1995. Effect of Farming Practices on Water Quality. J. of KSAE (English ed.), Vol. 37:63-71
5. Goodman, J. 1991. Evaluation of Site-Specific Groundwater Quality Data. NPS Nonpoint Source Solutions. EPA Seminar Publication EPA/625/4-91/027, September, 1991. pp:145-151.