

북한강 수계 충적평야의 지하수 수질 모니터링 연구

Monitoring Study on Groundwater Quality of an Alluvial plane in the North Han River Basin

최중대 · 장석오* · 김도환 · 최병용 · 최경진 · 박지성(강원대) · 류순호(서울대)
Choi, Joong Dae · Jang, Seok Oh · Kim, Do Hwan · Choi, Byung Yong ·
Choi, Kyoung Jin · Park, Ji Sung · Yoo, Sun Ho

Abstract

The effects of nonpoint source pollutants from a small agricultural alluvial watershed on groundwater quality were investigated and analyzed in this study. Water quality factors of pH, electric conductivity (EC), total nitrogen (T-N), nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammonium nitrate ($\text{NH}_4\text{-N}$), and total phosphorus (T-P) concentrations were monitored at the watershed located in Shinbook-myon, Chunchon, Kangwon-do, Korea for 2 years. Groundwater samples of about 2 liters from 7 to 20 farm wells were regularly collected and analyzed with respect to the water quality factors which were again analyzed with respect to time and land uses of residential, agricultural, livestock feedlot, greenhouse, and natural areas.

I. 서론

농업지역을 대상으로 하는 비점원오염 연구의 궁극적인 목적은 농경지와 농업활동에서 발생하는 비점원오염이 유역의 수질에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 본 연구도 이와 같은 목표를 달성하기 위한 연구중의 하나로 북한강 유역의 농업지대를 대표할 수 있는 농촌유역에서 지하수를 monitoring 하여 수질자료를 구축하고 이 자료를 이용하여 토지이용이 지하수에 미치는 영향을 파악하기 위한 것이다. 따라서 본 연구의 목적은 유역의 토지이용, 영농방편, 주거활동, 축산업 등의 특성인자를 파악하고, 이러한 유역의 특성인자들이 지하수 수질에 미치는 영향과 계절에 따른 수질의 변화양상을 기술하는 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지역

연구유역은 북한강 유역의 농업지대를 대표할 수 있는 강원도 춘천시 신북읍 울문리, 산천리 및 유포리 지역으로 내륙분지에 형성된 약 10.8 km^2 의 충적평야지대이다(Figure 1). 유역의 남쪽으로는 소양강이 흐르고 있고 서쪽과 북쪽으로는 작은 지방하천이 유역의 2면을 감싸며

소양강으로 흐르고 있어 약 3면이 하천으로 둘러싸인 삼각주나 선상지 모양을 하고 있다. 총적층은 지역에 따라 다소 차이가 있으나 일반적으로 표토(제1층)는 양토로 약 1 m, 그리고 제2층 이하는 자갈, 모래, 혹은 자갈, 모래 및 양토 등이 혼합되어 있는 층으로 약 4 ~ 5 m 정도의 깊이를 가지고 있다. 따라서 연구유역은 지표로부터 약 6 ~ 7 m 깊이의 총적층 지역으로 표토를 제외한 나머지 층은 투수계수가 비교적 큰 모래, 자갈 및 양토 등으로 구성되어 있어 얇은 지하수의 부존량이 상대적으로 크고 지하수의 유동이 빠를 것으로 예측된다. 유역의 표토는 미사질 양토가 주종을 이루며 비옥하기 때문에 집약적 근교농업이 매우 발달한 지역이다. 비닐하우스를 이용한 토마토, 호박, 오이 등 특수작물의 연중재배가 성행하고 있으며 또한 많은 군사시설이 혼재하고 있다.

2. 관측정의 선정

지하수 수질조사는 유역내의 관측정을 선정하고 처음 1년간은 2주에 한번씩 그리고 2년차부터는 한달에 한번씩 지하수 수질샘플을 채취하여 분석하였다. 토지이용에 따른 관측정은 유역의 지하수의 수질을 대표할 수 있는 지역을 선정하였고, 관측정으로 선정된 펌프는 소유농민과 협의하여 연구기간 동안 주기적으로 시료채취를 할 수 있도록 양해를 받았다. 제1차년도에는 7개 농가를 선정하여 1996년 11월부터 매 2주일마다 지하수 수질시료를 채취하여 분석하였다 (Figure 1, 관측정번호 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10). 지하수 수질분석결과 유역의 지하수 수질의 변화를 기술하기 위하여는 관측정의 숫자를 늘릴 필요가 있어 제 2차로

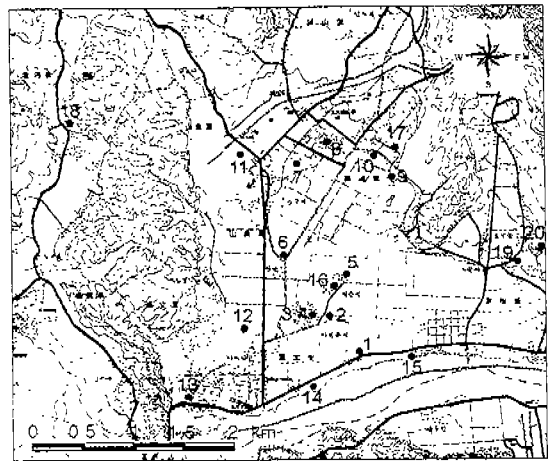


Figure 1. Location map of the monitoring sites and well numbers.

8곳의 관측정을 추가로 선정하여 1997년 4월 7일부터 수질시료를 채취하여 분석하였다(Figure 1, 관측정번호 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15). 1997년 7월 26일부터는 제 3차로 5곳의 관측정을 추가로 선정하여 총 20곳의 수질시료를 채취하여 분석하였다 (Figure 1, 관측정번호 16, 17, 18, 19, 20). 다만, 관측정 18은 연구유역외의 유사한 농업지대에 설치하였다. 수질분석은 서울대학교 농업생명과학대학 농화학과 토양학연구실에서 관계규정에 의해 분석되었다. 분석항목은 전기전도도(EC), Org-N, NH₄-N, NO₃-N, T-N을 대상으로 항목 당 34회 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유역의 개황 및 강우자료의 분석

연구유역으로 선정된 강원도 춘천시 신북읍 울문리, 산천리, 천전리 및 유포리 지역은 내륙 분지에 형성된 약 10.8 km²의 총적평야지대이다. 98년 현재 이 지역에는 총 2,453가구 7,630명이 거주하고 있으며, 하류부의 군부대 시설과 신북읍 도시지역을 제외하고는 대량의 생활하수를 방출하는 대중음식점이나 사업체가 없는 전형적인 농업유역이다. 연구유역의 경지면적은 논이 378.9 ha, 밭이 402 ha로 총 780.9 ha이며 논과 밭의 비율은 거의 비슷하다. 경지는 도로

망의 중앙부분에 많이 위치하고 있으며 유역의 상류부는 작은 구릉지(산지)로 구성되어 있다. 주로 재배되는 밭작물로는 고추, 콩, 배추, 들깨, 무 등이 있고 시설재배지의 경우는 토마토, 호박, 오이, 상추, 시금치 등이 있다. 비닐하우스를 이용한 특수작물의 연중재배가 성행하고 있으며 군사시설이 혼재하고 있다.

유역의 강우자료는 춘천기상대 자료를 사용하였다. 96년 11월부터 97년 10월까지 1차년도 연구기간에는 943.5 mm 그리고 97년 11월부터 98년 10월까지 2차년도 연구기간에는 1,747.2 mm가 내려 2차년도가 1차년도보다 803.7 mm가 많았다. Table 1은 연구기간내의 강수량을 나타낸 것으로 1차년도에는 5월에 31.8% 그리고 8월에 16.5%가 내려 두달 동안에 48.3%의 강수량 집중현상을 보였다. 2차년도에는 7월에 21.4% 그리고 8월에 38.8%가 내려 두 달 동안에 강수량의 60.2%가 내렸다. 농촌유역에서의 비점원오염의 유출은 월별강수량의 차이뿐만 아니라 단위강수의 지속시간과 강우강도에도

Table 1. Monthly rainfall data of the research watershed

Month	1st year rainfall(mm) (Nov. 1996 ~ Oct. 1997)		2nd year rainfall(mm) (Nov. 1997 ~ Oct. 1998)	
	11	38.4	4.1%	76.1
12	13.4	1.4%	31.9	1.8%
1	18.5	2.0%	16.4	1.0%
2	34.4	3.7%	34.1	2.0%
3	16.3	1.7%	32.4	1.9%
4	32.4	3.4%	131.1	7.8%
5	300	31.8%	92.2	5.2%
6	91.5	9.7%	183.3	10.5%
7	103.1	10.9%	366.0	21.0%
8	155.4	16.5%	663.9	38.0%
9	127.9	13.6%	83.5	4.7%
10	29.5	3.2%	36.2	2.0%
Total	943.5	100%	1,747.2	100%

많은 영향을 받는다. 본 연구유역은 투수계수가 큰 미사질 양토층으로 구성되어 있기 때문에 강우시 다른지역에 비해서 상대적으로 지하침투량을 클 것으로 예측된다. 따라서 지하수 오염 부하량, 변화는 강우량에 많은 영향을 받을 것으로 생각된다.

2. 수질분석 결과

수질분석 결과는 토지이용방법에 따라서 주거지역, 농업지역, 시설재배지역, 축산지역과 상류부의 자연수질지역(Control area)으로 나누어 분석하였다. Table 2는 토지이용에 따라 분류한 각각의 관측정 번호를 나타냈다. 관측정의 일부는 그 위치에 따라 2곳 이상의 토지이용 그룹에 분류되었다.

Table 2. Grouping of the monitoring well with respect to land use

Land use	Monitoring well numbers
Residential	7, 11, 13, 14, 15, 19
Arable	2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 19
Greenhouse	1, 7
Livestocks	16, 18
Control	5, 17, 20

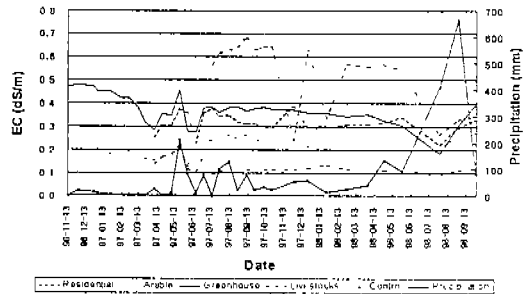


Figure 2. EC change of groundwater with respect to land use and time.

1) 전기전도도(EC) 분석결과

전기전도도는 상류부인 관측정 9, 10, 17, 20에서 낮게 나타났고 하류부로 이동하면서 점차 증가하는 경향을 보였다. 자연수질지역(control)의 EC 증양값은 0.077 dS/m로 여타 토지이용 지역 증강값의 14 ~ 38% 정도를 보여 청정수질을 보이는데 비하여 인간의 간섭이 이루어지는 여타 토지이용지역은 상대적으로 수질이 저하되고 있음을 나타냈다. Figure 2는 토지이용별 EC의 변화양상과 강우의 관계를 나타내었다. 토지이용별 전기전도도의 변화는 자연수질지역 < 농업지역 < 주거지역 < 시설재배 < 축산지역 순으로 나타났으며 축산지역을 제외하고는 큰 변화양상을 보이지는 않았다. 주거지역이 농업지역보다 더 높은 EC값을 나타내는 것으로 볼 때 농촌지역의 지하수질을 보전하기 위해서는 주거지역에 대한 지하수 보전대책의 수립이 필요함을 보여주고 있다.

2) 질소 분석결과

Org-N는 영농활동이 시작되는 3월부터 11월까지 상당히 큰 폭으로 변동하였으며 비영농기에는 비교적 작은 값을 나타냈다. 1년차에 높은 부하량을 보였으나 2년차에는 낮은 값을 나타냈으며 이는 강우에 의해 영향을 받은 것으로 사료된다.

NH₄-N 농도의 변화는 연도별로 매우 크게 측정되었으며 토지이용별로 유의성 있는 차이는 나타나지 않았다. 그러나 Org-N과 마찬가지로 같은 기간에 증가하고 감소하는 변화양상을 나타냈다. NH₄-N은 NO₃-N의 농도에 비해 매우 낮게 나타났으며 이는 토질이 사질토로 통기성이 좋아 질산화반응이 용이하여 NH₄-N이 NO₃-N으로 변하기 때문인 것으로 생각된다.

Table 3. Results of descriptive statistics of NO₃-N for the groundwater samples

	Mean	Median	Std.dev	Min.	Max.
Residential	17.24	16.32	9.017	2.53	61.47
Arable	8.52	6.83	7.889	0.61	61.47
Greenhouse	21.00	22.27	5.171	9.85	45.01
Livestocks	33.00	31.26	18.910	5.00	62.29
Control	1.48	1.26	0.814	0.43	3.54
Average	12.62	8.66	11.522	0.43	62.29

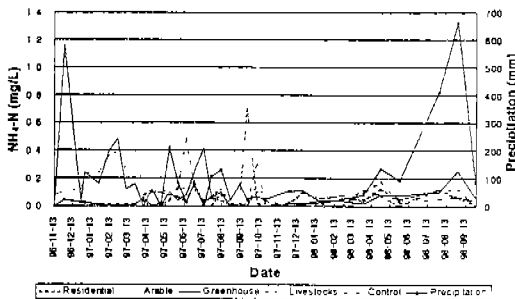


Figure 4. NH₄-N concentration change of groundwater with respect to land use and time.

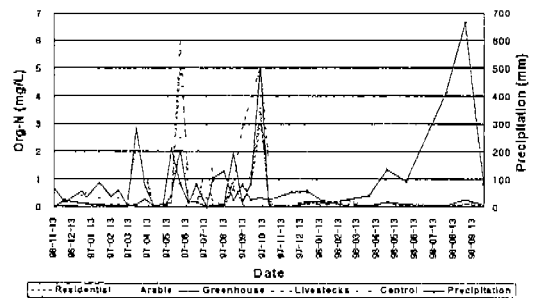


Figure 3. Org-N concentration change of groundwater with respect to land use and time.

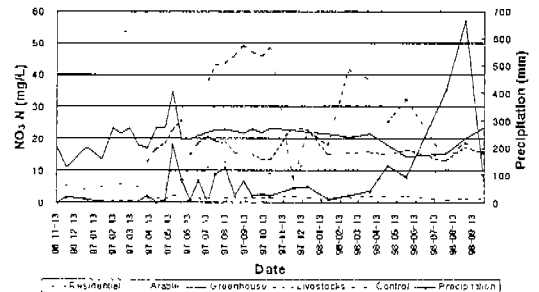


Figure 5. NO₃-N concentration change of groundwater with respect to land use and time.

Table 3은 측정된 질산태 질소 농도변화에 대한 통계값들을 나타냈다. 표에서와 같이 총질소 부하량의 90% 이상을 차지하는 질산태 질소의 평균농도가 농업지역과 자연수질지역을 제외하고는 환경부 규정 먹는물 및 먹는샘물 수질기준인 10mg/L를 초과하여 식수로 사용이 불가능함을 알 수 있다. 선정된 관측정을 소유한 농가 대부분이 간이상수도 시설이 없고 지하수를 식수로 사용하기 때문에 질산태 질소에 의한 피해를 유발할 가능성이 높은것으로 나타났다.

Figure 3, 4, 5는 토지이용에 따른 Org-N과 NH₄-N, 그리고 NO₃-N의 오염부하량 변화와 강우량과의 관계를 나타냈다. Org-N 농도는 강우량이 감소하면서 약간 증가하는 경향을 보였다. 이는 지하침투량이 작아 나타나는 현상으로 생각되었다. 그러나 강우량이 증가하면서 지표는 물론 불포화층에 잔류하던 Org-N이 지하 침투되면서 지하수의 Org-N 농도는 갑자기 증가하는 경향을 보였다. NH₄-N의 경우 다른 오염물질에 비해서 축산지역의 값이 상대적으로 낮게 나타나고 시설재배지역의 값이 높게 나타났다. 이것은 시설재배지역의 경우 일년 내내 영농활동이 있기 때문에 NH₄-N 부하량에 영향을 주는 비료가 다른 지역에 비해 상대적으로 많이 사용되며 또한 항상 관개가 이루어지기 때문에 지하 침투량도 증가하여 높은 농도를 보이는 것으로 판단된다. 질산태 질소의 농도는 위에서 분석했던 전기전도도의 경우와 유사한 변화가 나타났다. 토지이용별 오염부하량의 변화가 유사하다는 것은 질산태 질소가 전기전도도와 관계가 있음을 추측케 한다. 또한, 강우량이 큰 폭으로 증가한 2년차의 경우 지하침투량 증가로 인한 오염물질의 희석으로 인해 1년차보다 낮은 농도를 나타냈다.

총질소는 부하량의 90% 이상을 차지하는 질산태 질소의 영향을 받아서 분석값들이 질산태 질소의 경우와 유사하게 나타났다. 오염원이 적은 자연수질지역의 경우는 총질소의 농도가 2.0mg/L로 비교적 작게 나타났고 표준편차 또한 작아서 변동이 적음을 알 수 있다. 그러나 그 지역의 경우에는 편차가 상당히 커서 영농활동에 따른 총질소 오염 부하량의 변동폭이 심함을 보여준다. Figure 6은 주변환경이 전형적 농업지역인 12번 관측정에 대한 질소 부하량의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림은 영농활동이 질소 부하량에 미치는 영향을 보여주고 있으며 총 질소에 대한 질산태 질소의 기여도 또한 잘 나타낸다.

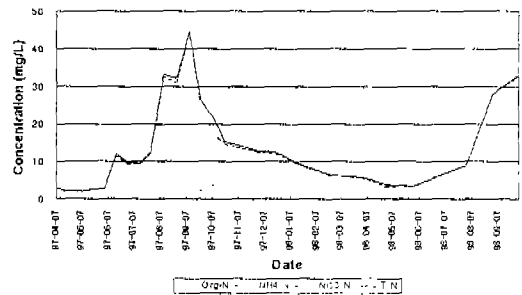


Figure 6. Nitrogen concentration change of No. 12 well with time.

3) 상관도 분석결과

지하수질에 영향을 미치는 각각의 오염인자에 대한 관계를 규명하기 위해 총 관측수 521개에 대해서 각각의 오염인자별로 상관도 분석을 실시하였다. Figure 9는 전기전도도와 총질소의 관계를 분석한 것으로 두 항목간의 결정계수 R²가 0.7706으로 상당히 높은 유의성을 나타냈다. 즉, 전기전도도와 총질소는 상당히 유의성 있는 변화를 나타내고 있다는 것을 보여주며 이 경우 상대적으로 간단히 측정할 수 있는 전기전도도값을 이용하여 총질소 부하량을 추측할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구는 농업지역을 대상으로 토지이용에 의해 발생하는 비점오염원이 유역의 지하수질

에 미치는 영향을 규명하기 위한 것이다. 이와 같은 목표를 달성하기 위해 북한강 유역의 농업지대를 대표할 수 있는 강원도 춘천시 신북면의 충적평야부를 연구유역으로 선정하여 지하수질을 monitoring하여 수질자료를 구축하였다. 측정된 자료의 계절적 및 연간 변화양상을 조사하여 지하수질변화에 영향을 미치는 주요 원인을 규명하였으며 다음의 결론을 얻었다.

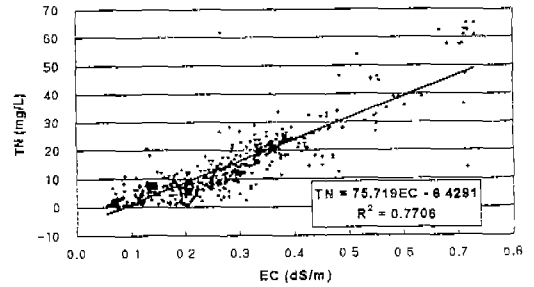


Figure 9. Correlation between EC and T-N concentrations.

- 1) 조사대상의 수질인자들의 농도는 대부분 비 영농기에 낮게 나타났고 영농활동이 활발해지는 5월부터 12월까지 높게 나타났다.
- 2) 오염인자들은 상류쪽에서는 비교적 낮았으며 하류로 갈수록 높아지는 것으로 나타났다.
- 3) 전기전도도의 변화양상은 총질소 농도와 높은 상관성을 보였다. 따라서 전기전도도는 지하수의 오염정도를 분석하는데 있어서 상당히 유용하게 사용되어질 수 있음을 알 수 있다.
- 4) 지하수의 총질소 농도 중 질산태 질소가 차지하는 비중이 90% 이상으로 측정되어 농촌지역 지하수의 총질소 농도는 주로 질산태 질소에 의해 지배를 받는 것으로 나타났다.
- 5) 유역의 특성인자 중 강우가 모든 항목에 매우 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 강우가 많은 경우 지하 침투량의 증가로 오염물질이 희석되어서 농도가 낮게 되는 경향을 보였다.

본 연구는 1996년과 1997년도 교육부 학술연구 조성비 과제번호 96005와 97005 (농업과학기술기 센터 공동연구 지원사업)의 지원으로 수행된 연구결과의 일부임.

참고문헌

1. EPA. 1989. Nonpoint Sources Agenda for the Future. pp. 2.
2. EPA. 1990. Seminar Publication for Nonpoint Source Watershed Workshop, Nonpoint Source Solutions, EPA/625/4-19/027, Office of Research and Development, Office of Water, Washington, DC 20460.
3. 김성석 등. 1995. 강원도에서 응용되는 지하수의 수질 특성에 관한 조사 연구. 한국수질보전학회지, 제11권 제3호, pp. 247~256.
4. 정상욱. 1996. 농업배수가 지표수 및 지하수 수질에 미치는 영향. 한국농공학회 학술발표회 논문집.
5. 최종대 등. 1993. 비점원오염의 문제점과 관리방법. 한국수문학회 수공학연구발표회 논문집.
6. 최종대 등. 1995. 영농활동이 얇은 지하수의 수질에 미치는 영향. 한국농공학회 학술발표회 논문집.
7. 최종대. 1996. 강원도 농촌유역의 지하수 수질과 하천수질. 한국농공학회 학술발표회 논문집.
8. 최종대. 1997. 비점원오염 연구에 관한 고찰. 한국농공학회지 제39권 제2호.
9. 환경부. 1995. 비점오염원 조사연구사업 보고서.
10. 환경청. 1994~1996. 환경백서.