

토지이용이 농업소유역의 수질에 미치는 영향

Effect of Land Use on the Water Quality of Small Agricultural Watersheds in Kangwon-do

최 중 대* / 이 찬 만** / 최 예 환***

Choi, Joong Dae / Lee, Chan Man / Choi, Ye Hwan

Abstract

Stream and groundwater qualities of small agricultural watersheds in Kangwon Province, Korea were monitored 1 to 2 years, and the relationships between stream and groundwater qualities and seasonal water quality changes analyzed. Flooded paddy fields influenced groundwater level and quality during rice culture. The differences between groundwater levels during rice culture and non-culture spans were between 0.8 and 2.91 m. Seasonal changes of total nitrogen and nitrate nitrogen concentrations of stream and groundwater were very similar and groundwater quality was thought to have a profound impact on stream quality of the research watersheds. Suspended solids and BOD maintained the first degree stream water quality throughout the monitoring period except for a few and short flooding spans. The concentrations of total phosphorus and total bacteria of both waters showed wide variations and any seasonal trends were not observed. Long-term monitoring studies on small rural watersheds were recommended to understand the patterns of both stream and groundwater quality changes with respect to land use, season and cultural practice, and to apply the results to develop effective water quality management policies for large river and domestic water supply systems.

Keywords: nonpoint source pollution, water quality, total nitrogen, total phosphorus, land use

요 지

북한강 수계의 농업소유역에 대하여 하천수(2년)와 지하수(1년) 수질을 모니터링하여 분석하였다. 농업소유역의 주요한 비점원 오염물질인 총질소, 질산성 질소, 총인, BOD, TSS 및 대장균 농도를 주기적으로 측정하였다. 계절에 따른 수질의 변화 및 지하수와 하천수 수질과의 관계 비교를 통하여 토지이용이 수질에 미치는 영향을 분석하였다. 연구유역의 지하수 수위와 총질소, 질산성 질소의 농도는 벼농사와 밀접한 관련이 있었고 지하수와 하천수의 질소농도의 변화도 밀접한 관련이 있음이 나타나 벼농사가 하천의 질소농도에 많은 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 토지이용(벼농사)과 지하수 및 하천수의 총인, BOD, 대장균의 농도 사이에는 일정한 관계를 발견할 수 없었다. 본 연구결과는 농업소유역의 수질변화를 이해하고 소하천의 수질관리정책을 개발하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 비점원오염, 수질, 총질소, 총인, 토지이용

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부 조교수

Assistant Professor, Dept. of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea

** 강원대학교 대학원 농공학과 석사과정 졸업

Master Program Graduate, Dept. of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 200 701, Korea

*** 강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부 교수

Professor, Dept. of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 200 701, Korea

1. 서 론

최근에 이르기까지 급속한 산업발달로 인한 각종 오염의 발생은 자연생태계파괴는 물론 인간생활에도 많은 영향을 주고 있다. 환경오염 문제는 사회문제로 대두되고 있으며, 특히 수자원 환경에 대한 중요성은 점차 커지고 있다. 풍부한 수자원을 가지고 있는 북한강 수계는 2,500만 서울 수도권의 생활, 공업 및 농업용수 공급에 매우 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 한강을 비롯한 우리 나라 대부분의 하천은 점원 및 비점원오염 물질의 지속적인 유입으로 인해 수질은 점점 더 악화되고 있다. 비점원오염은 가장 관리하기가 어렵고 여러 가지 오염 중에서도 가장 이해하기 어려운 오염원이다 (Magette, 1990). 비점원오염은 어느 특정한 지점을 선택하여 이곳이 바로 오염원을 배출하는 지점이라고 단정할 수 없는 광범위한 지역에서 동시다발적으로 일어나는 오염을 말한다. (Magette, 1989). 비점원오염은 구체적으로 소규모의 농가가축 폐기물, 농촌의 생활하수, 농경지와 영농활동, 도로 및 주거지 등에서 발생하는 오염이다. 비점원오염의 대표적인 오염물질은 부유토사, 총질소, 총인 등으로 농업 지역에서 영농활동으로 인해 많이 발생되고 있다. 총인, 총질소 및 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)를 포함한 영양물질들은 농경지에 시비한 화학 및 유기질 비료의 직접 유출에 의하거나 혹은 토사에 흡착되었다가 강우에 의한 토사의 유실로 하천 및 지하수로 유입된다. 비점원오염은 미국의 河口 (estuary), 호수 및 강으로 유입되는 총 오염물질의 각각 45%, 76%, 및 65%를 차지하고 있으며, 비점원오염 물질 중 영농활동에 기인한 오염은 호수의 경우는 57%, 하천의 경우는 64%로 가장 높게 차지한다고 보고되었다. 미국 Pennsylvania의 동남부 지역의 우물수질에 대한 조사연구에서 약 28%의 우물이 EPA 음용수 기준인 질산성 질소 농도 10 mg/l 를 초과하여 식수로 사용될 수 없다는 판정을 받았다. 비점원오염은 미국의 하천과 호수오염의 주원인이 되고 있으며 특히 농업지역으로부터의 유출은 하천과 호수를 오염시키는 오염물질의 60% 정도를 공급하고 있다. 또한 지표수와 지하수는 수문순환으로 연결되어 있으며 (Bachman 등, 1984; Hamilton 등, 1989), 주변수계로의 영양염류의 유출은 지표수뿐만 아니라 지하수를 통해서도 많이 이루어지고 있다고 추측하였다 (Magette 등, 1989). 1991년 Shirmohammadi 등(1991)은 미국 동부 해안평야지

대의 경우 경지로부터 질소의 손실은 지표 유출수를 통한 손실보다는 침투에 의한 지하수층으로의 손실이 더 큰 경우가 종종 있다고 보고하였고, 영농방법, 시비량 및 시비시기도 질산성 질소의 침투손실에 영향을 주고 있다고 하였다.

우리 나라의 비점원오염 연구용역 (환경부, 1995)의 경우도 유역에서 수계로 유입하는 총 오염원중 비점원오염이 차지하는 부하량은 부유토사 (SS) 54.7%, 생화학적 산소요구량 (BOD) 16.1%, 총인 (T-P) 26.2% 그리고 총질소 (T-N) 50.4%로 나타났고, 비점원오염 원단위 추정결과에 의하면 총질소의 경우도 시지역은 1 ha당 7.6 kg, 논에서는 2.2 kg 등으로 발표하였다. 박충현 등 (1996)은 전국의 총질소 원단위 부하량 전망에서 2001년을 기준으로 생활하수에 의한 일 추정량은 367 ton, 축산폐수량은 97 ton 등이며, 비점오염원에서는 일 95 ton 등으로 예상하고 있다. 국내의 지하수 개발과 보전의 문제점 사례 조사보고서 (배상근, 1996)에 의하면 1993년도에 774개 지점에 대한 지하수수질 조사결과에 있어서 조사대상의 17%, 1994년 770개 지점에 대한 조사결과 조사대상의 13%, 1995년 1,546개 지점에 대한 조사결과 10.1%가 음용수 수질기준을 초과하여 많은 지역에서 지하수가 오염되어 있음을 나타내었다.

미국의 경우는 비점원오염의 원인 규명과 통제기술을 개발하기 위하여 심혈을 기울여 왔다. 대표적인 비점원오염 monitoring project들은 전국적인 규모의 RCWP(EPA, 1990)와 단위유역 규모인 LaPlatte river watershed program (Meals, 1990) 등이 있다. 농장규모 단위의 best management practices와 지표수 및 지하수 수질 monitoring 연구도 활발하다. Magette 등 (1992)은 개인농장주의 협조하에 공동으로 연구하는 Indian town demonstration farm project에서 농약, 비료, 경운방법, 작물재배 등이 지하수 및 지표수에 미치는 영향들을 연구하여 농업생산성을 유지하면서도 비점원오염의 방출을 최소화시킬 수 있는 영농방법을 개발하여 상당한 효과를 거두었다.

미국 중동부주의 용수공급과 이용에 관한 심포지엄에서 비점원오염을 관리하기 위한 가장 시급한 연구과제로는 모든 토지이용에 대한 처방과 반응관계 (dose and response relationships)의 개선, 토지이용이 수질에 미치는 영향의 예측능력 개선 그리고 위험성 판단 (risk assessments)과 predictive model의 입력자료를 위한 자료은행 (data bases)의 확대

및 개선을 예로 들었다 (Magette 등, 1990). 상기의 연구과제를 성취하기 위해서는 신뢰성이 있는 자료의 확보가 필수적으로 선행되어야 한다. 그러나 우리나라에서 신뢰성을 가지고 사용할 수 있는 관측자료는 매우 드물다. 또한 비점원오염은 지역의 토질 및 토성, 문화, 주거형태, 영농활동, 강우형태, 하천의 이용 및 형상 등 많은 인자들에 의해 영향을 받고 있어서 지역 특성에 맞는 관측자료의 수집과 분석이 반드시 필요하다. 대유역의 수질보전을 위해서는 소유역에 대한 기초적인 자료를 구축해야 한다. 소유역의 농업지역을 대상으로 한 비점원오염 연구의 궁극적인 목적은 농경지와 농업활동에서 발생하는 비점원오염이 유역의 수질에 미치는 영향을 구명하는 것이다. 이를 위해서는 장기적인 유역과 수질 모니터링을 통하여 주요한 비점원오염을 찾아내고 수질오염에 미치는 우선 순위에 따라 오염원을 통제하는 기술을 개발하고 보급할 수 있어야 한다.

본 연구의 목적은 북한강수계 강원도 농업소유역의 하천수(2년)와 지하수(1년)의 수질변화를 monitoring 하여 기초자료를 구축하고, 지하수와 하천수 수질과의 관계 및 수질의 계절적 변화양상을 분석하기 위한 것이었다. 본 연구에서 수집한 자료와 분석결과는 소유역의 비점오염원을 효과적으로 통제 할 수 있는 기초적인 자료로 사용될 수 있을 것이다. 또한 대유역의 수질보전을 위한 행정 및 정책개발에 중요한 자료로 사용될 수 있을 것이다.

2. 재료 및 방법

연구의 시험유역으로 강원도 춘천시 서면 방동 1리 와 2리 유역을 선정하였다. 방동리 유역은 춘천시 도

심과 약 7 km 떨어진 그린벨트 내에 위치하며, 유역의 면적은 13.8 km²이다. 유역경계는 약 100 내지 500 m 내외의 산과 능선으로 둘러싸여 있다. 방동리 유역은 전반적으로 西高東低의 계관형으로 지형에 따라 방동1리와 2리의 유역으로 구분된다.

시험유역의 지질은 중생대 쥐라기에 형성된 흑운모 화강암이 많으며 불규칙 節理 및 龜裂이 많은 파쇄대 층과 화강암 풍화대가 발달되어 있다. 연구 유역은 논 농사와 밭농사 중심의 전혀 도시화가 이루어지지 않은 전형적인 강원도의 농촌 마을이며, 산림의 면적은 방동 1리 유역이 83.7% 그리고 방동2리 유역이 67.39%를 점하고 있다. 방동1리와 방동2리를 흐르는 방동1천과 방동2천의 유로 연장은 각각 약 5 km이고 북한강에 건설된 의암호로 유입된다. (Fig. 1).

Table 1은 유역의 생활환경을 조사하여 나타냈다. 방동1리와 2리 유역에서 1년에 사용하는 화학비료의 총량은 각각 91.5 ton과 89.5 ton이었으나, 자가 생산하는 축산분뇨를 고려한다면 실제의 비료사용량은 많이 증가될 것으로 생각된다. 농약은 제초제와 토양살충제가 많이 사용되고 있었으며, 사용량의 75~90% 정도는 여름철에 집중되어 사용되었다.

하천수는 방동1천과 2천의 하류부에 각각 1개의 유량 및 수질측정 지점을 선정하여 수질시료를 채취하고 유출량을 측정하였다. 홍수시에 유량이 많을 경우는 표면부자를 사용하여 유량을 측정하였다. 유출량과 수질의 측정은 1995년 3월부터 1997년 2월까지 2년동안 약 2주 간격으로 수행되었다.

지하수 관측정으로 시험유역의 하류부에 위치한 6개의 재래식 우물(수동펌프)을 선정하였다. 대부분의 관측정들은 두께가 약 3.8~4.5 m로 추정되는 화강암

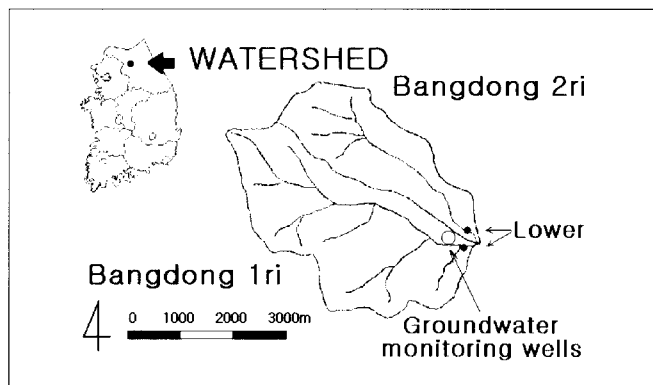


Fig. 1. Bangdong Watershed and Sampling Locations

Table 1. Watershed Characteristics

구 분		방동 1리	방동 2리
유역 면적		9.2 km ²	4.6 km ²
경지 면적	논	58 ha	49 ha
	밭	57.5 ha	7,652.6 ha
가 옥 (인구)		86호 (368명)	64호 (271명)
연간 비료사용량		91.5 ton	89.5 ton
연간 농약사용량		4,122.47 kg	4,464.25 kg
가 축 (소)		562 두	418 두

풍화대에서 채수를 하고 있었으며, 1995년 1월부터 12월까지 1년동안 수질시료 채취 및 지하수위를 측정하였다. 채취된 시료는 환경부체정 수질공정시험법 (환경부, 1995)에 준하여 지표수는 TSS(total suspended solids), T-P(total phosphorus), T-N(total nitrogen), 질산성 질소(NO₃-N) 및 대장균에 대하여 수질 분석을 하였고, 지하수는 대장균, T-P, T-N 및 질산성 질소(NO₃-N)에 대하여 분석을 하였다.

유역의 강우자료는 유역으로부터 약 10 km 정도 떨어져 있는 춘천기상대 자료를 사용하였다. 95년 3월부터 96년 2월까지 1차년도 연구기간에는 1,599.9 mm 그리고 96년 3월부터 97년 2월까지 2차년도 연구기간에는 1,213.1 mm가 내려 1차년도가 2차년도보다 386.8 mm가 많았다. 강우량 중 지표유출을 유발

하여 비점원오염 물질을 유출시킬 수 있는 5 mm 이상의 유효강우는 1차년도 연구기간에 1,486.9 mm, 그리고 2차년도 연구기간에는 1,144.7 mm였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유출량 및 지하수위 변화

Fig. 2는 평·갈수기 유출량으로 0.7 m³/sec 이하의 유출량을 나타낸다. 건기나 장기간 동안 강우가 없을 때, 방동1천과 2천 사이에 유출량의 차이는 크지 않았다. 이는 방동1천은 하상의 퇴적깊이가 깊어 복류수로 유출되는 유출이 방동2천 보다 많기 때문인 것으로 생각된다. 우기에는 유역면적이 넓은 방동1천이 방동2천보다 많은 유출량을 보였다. 유역면적이 작고 하상

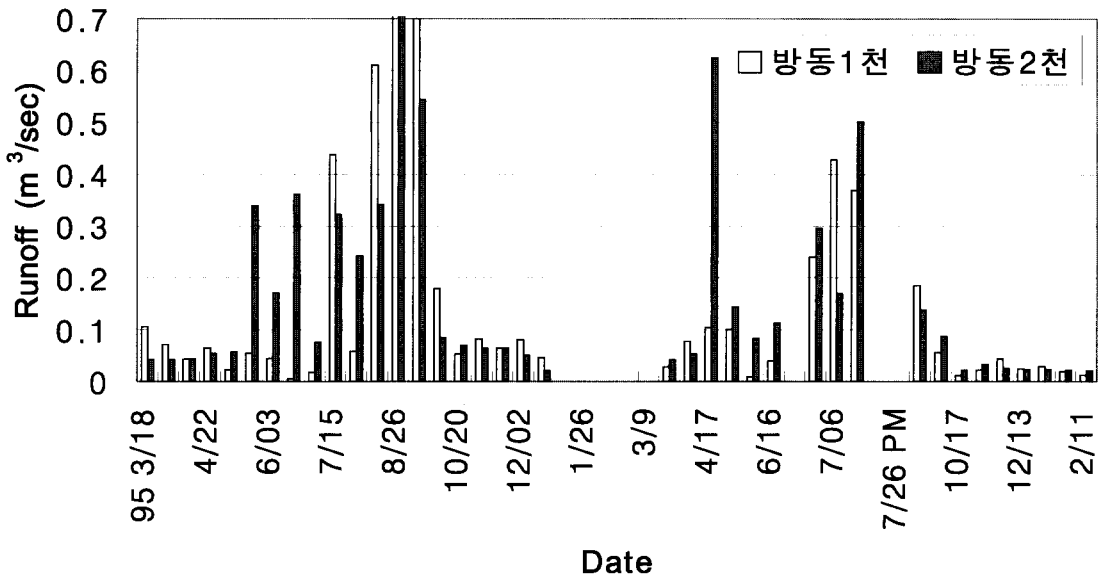


Fig. 2. Measured Runoff from Bangdong 1 and 2 Streams

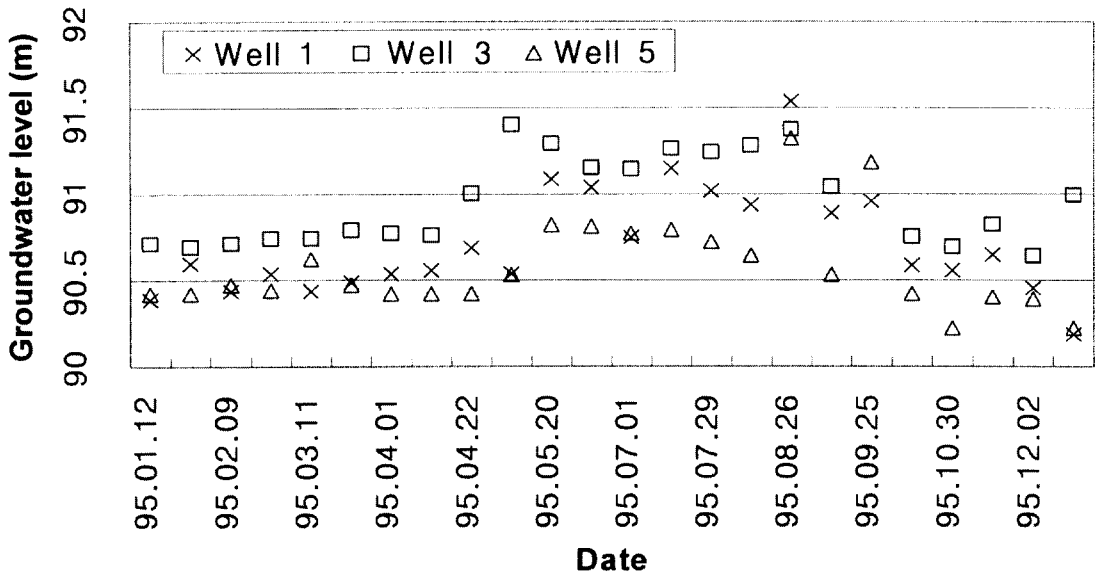


Fig. 3. Change of Groundwater Table above the Mean Sea Level (m)

경사가 비교적 큰 편이어서 강우시 홍수도달시간이 짧고 또한 홍수지속시간도 매우 짧았으므로 홍수시의 최대유량을 측정하지는 못하였으나 방동1천에서 측정된 최대유량은 39.09 m³/sec였다.

관측정 1, 3, 5 지하수위의 계절적 변화는 Fig. 3에 나타내었으며, 나머지 3개의 관측정에서도 비슷한 경향을 보였다. 지하수위는 계절에 따라 비교적 일정한 변화를 보였다. 영농기 특히 수도 재배가 시작되며 지하수위가 상승하였으며 비수확이 종료되는 시기에 저하되었다. 이는 수도 재배를 위한 토지이용이 연구유역의 지하수위와 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있으며 또한 영농기의 강우도 지하수위 상승에 영향을 있을 것으로 사료된다. 영농기와 농한기의 최고 및 최저 지하수위의 차이는 고지대에 위치하는 관측정 2에서 291 cm로 가장 컸으며 관측정 6에서 80 cm로 가장 작았다. 기타 관측정의 최고와 최저 지하수위차는 110~169 cm 정도였다.

3.2 수질의 변화

3.2.1 총질소 및 질산성 질소 분석결과

Fig. 4는 하천수 총질소 농도의 계절적 변화이며, 12 mg/ℓ 이상은 제외되었다. T-N의 최고 농도는 방동1천에서 16.8 mg/ℓ 과 12.8 mg/ℓ 로 2회 측정되

었으나 이는 수질분석 또는 시료 채취시 오차가 발생한 것으로 판단된다. 지표수의 총질소 농도는 1차년도와 2차년도에서 다소 다른 변화를 보였으나 수도재배가 시작되며 총질소의 농도가 증가되는 경향은 일치하였다. 제1차년도의 변화는 2월 중순부터 방동 1천이나 2천 모두에서 낮은 농도를 보이다가 6월 초순 이후 증가하여 높은 농도를 12월까지 유지하다 1월경에 감소하는 비교적 분명한 차이를 보였다. 2차년의 경우, T-N 농도는 2~3월에 낮았으며 4월경부터 익년 1월 초까지 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 증가된 농도는 수도수확을 위하여 낙수한 후에도 계속 유지되다 1월 초순이후에 낮아졌다. 이는 수도재배시 침투수와 함께 침투한 질소성분이 서서히 분해되며 배수되기 때문인 것으로 생각된다. 1차년도와 2차년도의 총질소 농도의 변화경향이 다른 것으로 보아 농업소유역 하천의 총질소 농도의 변화를 보다 정밀하게 구명하기 위해서는 보다 장기적인 모니터링 연구가 필요하다. 하천수의 총질소는 1차년과 2차년에서 2월말부터 5월말까지 약 0.646~3.48 mg/ℓ 정도의 비교적 낮은 농도를 보여주었으며 6월부터 1월경까지는 0.70~16.80 mg/ℓ 정도로 농도 변화 폭이 매우 크게 측정되었다.

Fig. 5는 1차년도 지하수 관측정의 평균 총질소와 질산성질소 농도를 비교한 그림이다. 총질소와 질산성질소 모두 1월부터 낮은 농도를 유지하다 6월 중순부

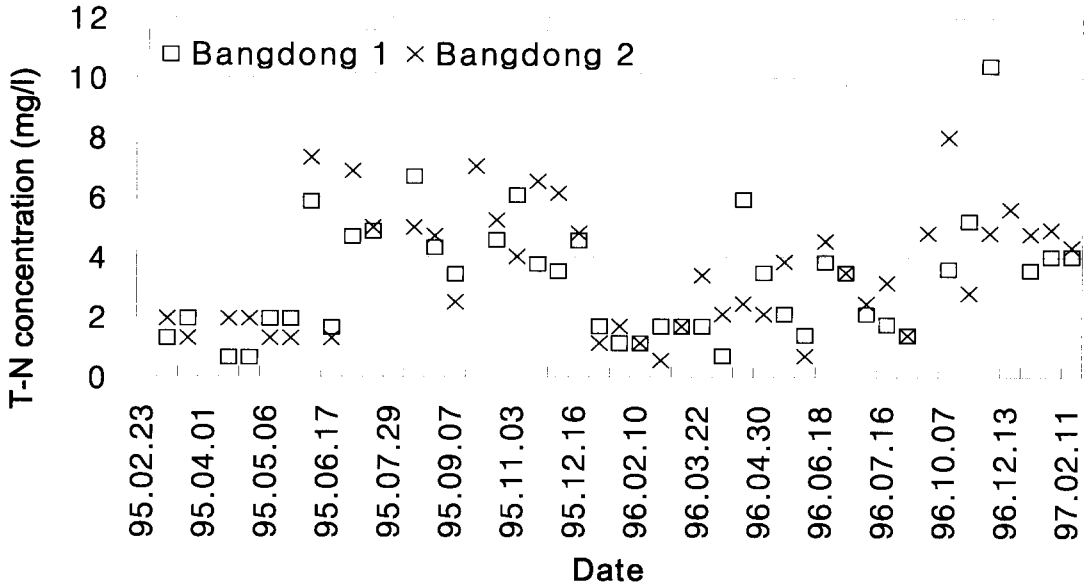


Fig. 4. Seasonal Changes of Stream T-N Concentration (mg/l)

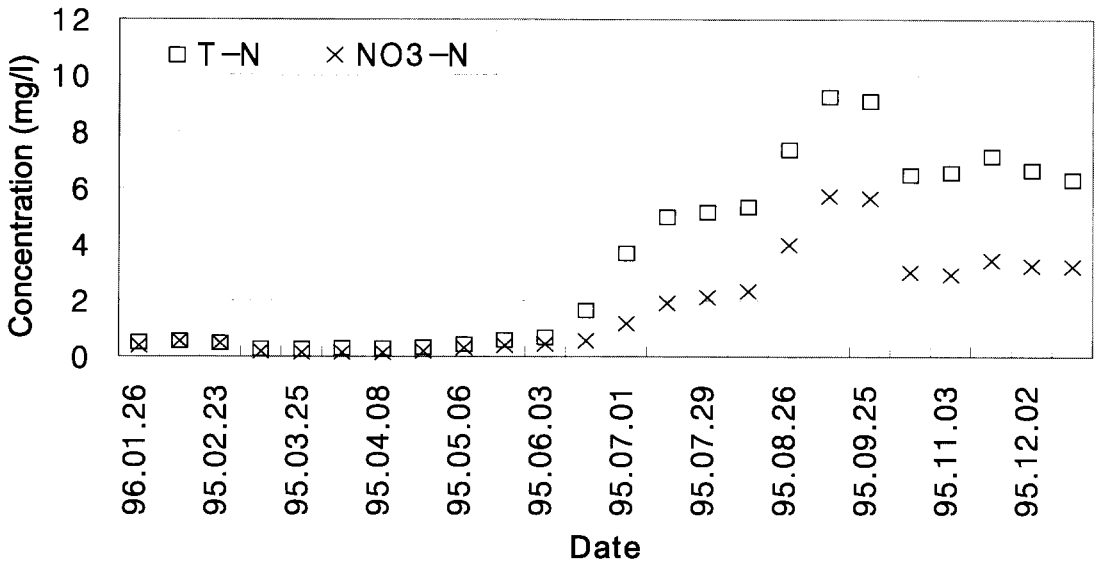


Fig. 5. Seasonal Changes of Groundwater T-N and NO₃-N Concentrations (mg/l)

터는 상승하였고, 10월부터는 약간 낮아졌으나 1월 초 순까지 높은 농도를 계속해서 유지하는 것으로 나타나 하천수의 총질소 농도의 변화와 비슷한 경향을 보였으며 하천수와 마찬가지로 토지이용과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 질산성 질소는 총질소보다 연중

낮은 농도를 유지하고 변화하였으며, 총질소보다 약 1~2주 늦게 질산성 질소 농도가 상승하였다. 이는 유기질소가 질산성 질소로 분해되는데 따른 시간적 차이로 판단된다. 1월 중순부터 6월 중순까지의 지하수 총질소 농도는 0.498~1.640 mg/l (평균 0.526 mg/l)

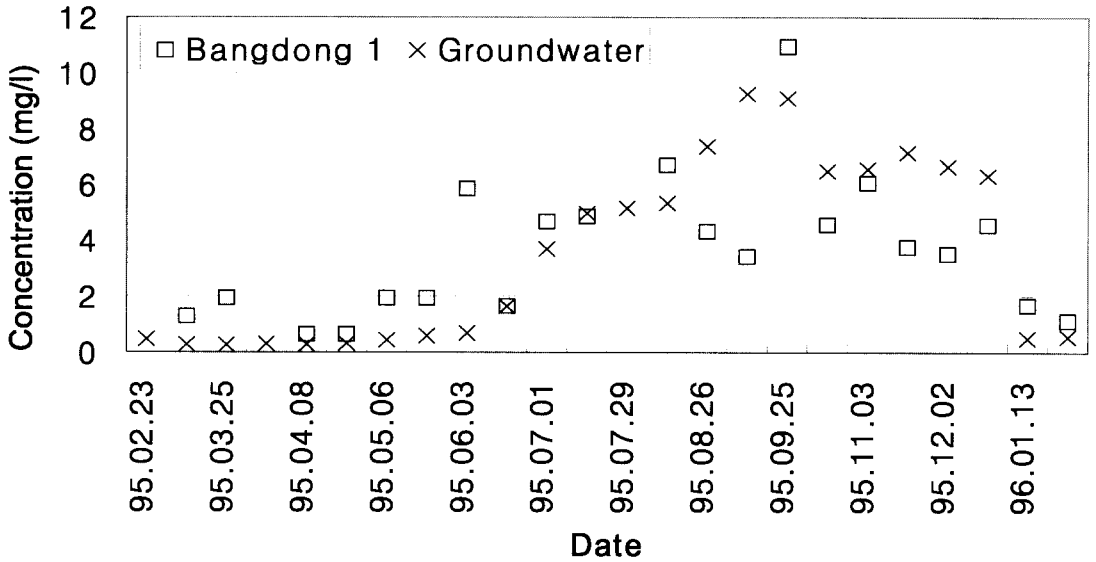


Fig. 6. Changes of T-N Concentrations of Stream and Groundwater(mg/ℓ)

였고 6월 중순부터 1월 중순까지는 3.686~9.247 mg/ℓ (평균 6.497 mg/ℓ) 였다. 지하수의 질산성 질소 농도는 1월 중순부터 6월 중순까지 0.129~0.567 mg/ℓ (평균 0.325 mg/ℓ)였고 6월 중순부터 1월 중순까지는 1.177~5.720 mg/ℓ (평균농도는 3.218 mg/ℓ) 였다.

Fig. 6은 1차년도의 지하수와 하천수의 총질소 농도 변화를 나타내고 있다. 지하수와 하천수의 T-N 농도 변화 경향은 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 지하수의 T-N 농도는 6월경까지 하천수 보다는 낮은 농도를 유지하였고, 6월 이후에는 지하수의 농도가 하천수 보다는 비슷하거나 높게 측정되었다. 1월경에는 지하수의 농도가 하천수의 농도보다 다시 낮게 측정되었다. 하천수의 T-N 농도는 지하수의 T-N 농도와 상당히 밀접한 관계에 있는 것으로 나타나 평·갈수기의 농업소유역 하천의 수질을 관리하기 위해서는 토지이용의 최적관리법(BMPs)을 통한 유역의 지하수 수질관리가 중요함을 나타내주고 있다.

Fig. 7은 1차년도 지하수와 하천수의 질산성 질소 농도를 나타낸 것이다. 하천수와 지하수의 NO₃-N 농도는 1월 중순부터 5월말 경까지는 비슷한 농도를 보였다. 그러나 NO₃-N 농도는 수도재배가 본격화되는 6월초부터 하천수와 지하수 모두에서 증가하여 12월말까지 비교적 높은 농도를 유지하는 비슷한 경향을 보

였으나 각 측정시기별 농도 차는 상당한 차이를 보였다. 측정된 하천수의 NO₃-N 농도는 최저 0.02 mg/ℓ 에서 최고 8.313 mg/ℓ 였다.

3.2.2 SS 및 BOD 분석결과

BOD (biochemical oxygen demand)와 SS (suspended solids)는 하천수에서만 측정되었고 지하수에서는 측정하지 않았다. BOD의 최대 측정값은 96년 8월 21일 방동2천에서 9.0 mg/ℓ 였다. 이때는 연속강우로 하천유량이 증가하였을 때이며 하천으로 토양 및 유기물이 유입되어 BOD값을 높이는 것으로 생각된다. 건기나 평시의 BOD는 거의 0에 가까운 값을 보여 BOD를 기준으로 하면 1급수의 수질을 대부분 유지하고 있었다.

SS의 농도도 강우로 인하여 하천 유출량이 증가하지 않는 한 상수원수 1급수 수질기준인 25 mg/ℓ 이하의 맑은 물을 유지하였다. 큰비로 인한 홍수시에는 높은 SS 농도를 보였으나 홍수 피크후 약 24시간 이내에 SS농도는 급격히 감소하여 1급수 수질에 도달하는 것으로 나타났다. 측정된 SS의 최대 농도는 448.8 mg/ℓ 였고, 건기나 평시의 SS농도는 0.0~10 mg/ℓ 정도의 맑은 물을 보였다.

3.2.3 총인 및 대장균 분석결과

지하수 및 지표수의 총인 변화양상은 매우 심한 변

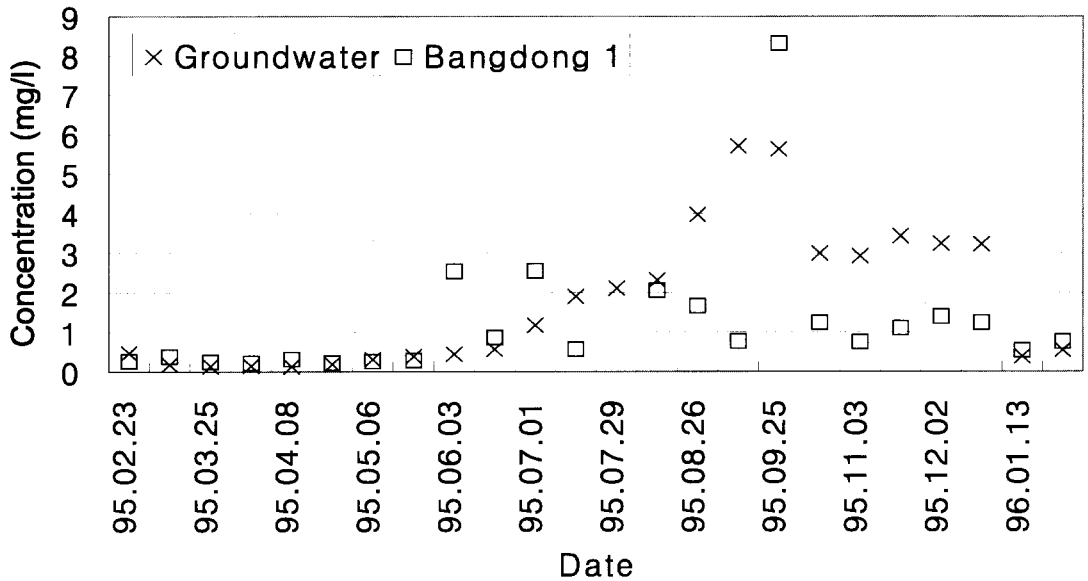


Fig. 7. Comparison between Stream and Groundwater NO₃-N Concentrations (mg/l)

Table 2. Distribution of Measured T-P Concentration from Stream and Groundwater

T-P concentration (mg/l)	Bangdong 1 and 2 streams	Groundwater (well 1, 2, 3, 4, 5, 6)
0.0 ~ 0.02	28	1
0.02 ~ 0.09	14	7
0.1 ~ 0.5	24	36
0.5 ~ 1.0	8	23
> 1.0	14	38

화를 보였다. 하천수의 연도별 총인 농도의 비교에서는 유의적인 차이는 나타나지 않았지만 95년과 96년 3월부터 5월까지의 총인 농도가 비슷하였고 7월부터 1월까지는 96년도의 총인 농도가 95년도의 총인 농도보다 다소 높게 나타났다. 지하수의 총인 농도도 각 관측점별 유의적인 차이는 발견할 수 없었다. 총인의 농도는 하천수에서 0.004~8.81 mg/l (평균 0.596 mg/l), 그리고 지하수에서 0.02~2.11 mg/l (평균 0.415 mg/l)로 측정시마다 변화가 심하여 일반적인 경향을 파악하기 어려웠다. 측정된 총인 농도의 농도별 측정횟수는 Table 2와 같다. 하천수 보다는 지하수의 총인 농도가 높게 나타나는 경향을 보여 점토성분이 작은 연구유역의 토양 때문에 총인의 침투유출이 비교적 높은 것으로 생각된다. 대부분의 총인 농도는 상수원수 1급수 기준인 0.01 mg/l을 초과하여 호소의 부영양화

에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다. 총인 농도의 변화는 수질시료 채취시, 시료 분석시의 오차를 포함한 다양한 원인에 의하여 발생하는 현상으로 생각되며 하천과 지하수 총인의 변화양상을 구명하기 위해서는 보다 정밀한 실험설계에 장기간의 모니터링 연구가 필요할 것이다.

하천수의 대장균 농도는 대단히 변화가 심하게 측정되었으나 방동1천과 2천 사이의 변화경향은 비슷하였다. 방동1천의 대장균은 0.0~1,365 cfu/100 ml 범위였으며, 방동2천은 0.0~2,175 cfu/100 ml 범위였다. 지하수의 대장균 농도는 동절기 (평균 25.5 cfu/100 ml)에는 감소하였고 하절기 (평균 130.5 cfu/100 ml)에는 증가하는 경향을 보였다. 그러나 몇몇 관측점에서는 동절기에도 상당량의 대장균이 지속적으로 검출되었다. 연구유역에는 980두의 한우가

사육되고 있었음에도 불구하고 하천수와 지하수 모두에서 대장균은 검출되지 않아 축산분뇨 등의 유기물의 하천수와 지하수 유입은 매우 낮을 것으로 생각되었다. 장마후 하천수의 대장균 농도가 일시적으로 감소하는 경향은 보였으나 전반적으로 변화의 크기가 심하여 계절별로 혹은 토지이용별로 대장균의 변화양상은 파악할 수 없었다.

4. 결 론

북한강 수계 강원도 농업소유역의 하천수와 지하수의 수질 변화를 모니터링하여 기초자료를 구축하고 지하수와 하천수 수질과의 관계와 수질의 계절적 변화양상을 분석하기 위하여 강원도 춘천시 서면 방동리유역을 대상으로 연구하였으며 도출된 결과는 다음과 같다.

(1) 수도재배시의 담수가 연구유역의 지하수 수위와 수질에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 수도재배시와 비재배시의 지하수위 차이는 0.8 m 내지 2.91 m였다.

(2) 하천수의 총질소 농도는 2년 동안의 모니터링 기간 중 서로 다른 변화양상을 보였다. 강우량이 많았던 1차년도 하천수 총질소 농도는 6월에 상승하여 익년 1월초에 감소하는 비교적 일정한 변화양상을 보인데 반하여 강우량이 상대적으로 작았던 2차년도의 총질소 농도는 4월경부터 점진적으로 증가하여 익년 1월초까지 비교적 높은 농도를 보였다.

(3) 지하수의 총질소 농도(1차년도)는 하천수의 총질소 농도와 매우 비슷한 변화를 보여 지하수의 총질소 농도가 하천수의 총질소 농도에 많은 영향을 주는 것으로 나타났다.

(4) 하천수와 지하수의 질산성 질소 농도의 변화는 1월부터 5월까지의 잘 일치하였으며 수도재배를 위한 담수시기부터 익년 1월 초까지는 편차가 크기는 하였어도 비교적 유사한 변화경향을 보여 총질소 농도와 마찬가지로 지하수의 질산성 질소 농도가 하천수의 수질에 많은 영향을 주는 것으로 나타났다.

(5) 하천수의 SS와 BOD는 홍수시기를 제외하고는 하천수 수질 등급을 유지하였다.

(6) 하천수와 지하수의 총인과 대장균의 농도는 계절에 관계없이 많은 변화를 보여 일정한 경향을 파악할 수 없었다.

(7) 갈·평수기 농업소유역의 하천수와 지하수 수질 변화는 유역의 수도재배 등 토지이용에 많은 영향을

받는 것으로 나타났으나 1년이나 2년 정도의 모니터링으로는 그 변화경향을 정확하게 예측하기 어려웠다. 보다 장기적이고 체계적인 모니터링 연구를 통하여 지하수와 하천수 수질과의 관계, 토지이용별, 계절별 및 영농활동별 수질변화경향을 파악하여 대하천과 상수원의 수질관리정책개발에 이용하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 연구비(KOSEF(핵심) 951-0601-036-2) 지원으로 수행되었으며 저자는 이에 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- 박충현, 박희경, 현인환 (1996). "21세기 물 수요를 대비한 종합수질 관리방안." 96년 세계 물의 날 기념 심포지엄, pp. 71-119.
- 배상근 (1996). "지하수의 개발과 보전의 문제점 사례." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제29권, 제6호, pp. 20-27.
- 환경부 (1995). 비점오염원 조사연구사업 보고서.
- 환경부 (1995). 수질오염 공정시험방법. 성문기술.
- Bachman, L.J. (1984). *The Columbia Aquifer of the Eastern Shore of Maryland part I: hydrology*. Report of Investigation No. 40, Maryland Geological Survey.
- EPA (1990). *Rural clean water program*. EPA440/4-90-012. Office of Water (WH 553).
- Hamilton, P.A., Shedlock R.J., and Phillips P.J. (1989). *Groundwater quality assessment of the Delmarva Peninsula: Delaware, Maryland and Virginia analysis of available water quality data through 1987*. Open File Report 89-34, U.S. Geological Survey.
- Magette, W.L., Ifft, T.H., Wood, J.D., Weismiller, R.A., and Lessley, B.V. (1989). *Indian town best management practices demonstration farm: Summary of hydrologic and water quality monitoring 1986-1988*. Unpublished Report to the Maryland Department of Agriculture, Agricultural Engineering Department, University of Maryland, Maryland.

- Magette, W.L. (1989). *Citizen's guide to environmental terminology*. Water Resources 18, Cooperative Extension Service, University of Maryland.
- Magette, W.L. (1990). "Water quality/land use: Water issues in the Middle Atlantic States, AES and CES of the University of Maryland system and USDA ARS Beltsville, Maryland." A Symposium Paper Held in NOV. 1, 1990, Calvert Holiday Inn, Beltsville, Maryland.
- Magette, W.L. (1992). *Indian town BMP demonstration farm project*. Department of Agricultural Engineering, University of Maryland, College Park, Maryland.
- Meals, D.W. (1990). *LaPlatte River Watershed water quality monitoring and analysis program - year 11*. Program Report No. 12, Comprehensive Final Report, Vermont Water Resources Research Center, University of Vermont, Vermont.
- Shirmohammadi, A., Magette W.L., and Shoemaker, L.L. (1991). "Reduction of nitrate load to ground water." *Ground Water Mon. Rev.*, pp. 112-118.
- (논문번호:99-024/접수:1999.03.26/심사완료:1999.07.15)