

도시화 지역에서 GIS를 이용한 지하수 질산성질소 분포 영향요인 분석

원종석¹ · 우남철^{2*} · 김윤종¹

¹서울시정개발연구원, ²연세대학교

Analysis of Influential Factors on Nitrate Distribution in Ground Water in an Urbanizing Area using GIS

J.S. Won¹, N.C. Woo^{2*} and Y.J. Kim¹

¹Center for Urban Information System Seoul Development Institute, Seoul 137-070, Korea

²Department of Earth System Science, Yonsei university, Seoul 120-749, Korea

To identify the influential factors and their relative significance on spatial distribution of NO₃-N in urban ground water, spatial analysis was conducted using GIS and statistical approaches in the Seongnae-Koduk watersheds, where rapid urbanization has been proceeded. Several factors were considered including land-use type, distance to sewage lines, the ratio of impervious surface, and the ratio of green area. The spatial distribution of NO₃-N in the land-use types shows differences between urban and crop field possibly due to the sewage networks in urban areas and the agrochemical uses in crop field. Nitrate concentrations in ground water were decreased with the distance to sewage lines to approximately 60-75 m. Concentrations of nitrate and distances to sewage lines showed negative correlation, indicating that the nitrate contamination was induced from the sewage system and specially significant in urban areas. The negative correlation of the ratio of impervious surface to the nitrate concentration in urban areas also suggested that the source materials of nitrate are introduced from the surface. Consequently, in areas of urbanization processes, systematic management of past-and-present land-use types and sewage systems are the most significant factors in preventing ground water from nitrate contamination.

Key words : NO₃-N, ground water, GIS, spatial analysis, influential factor

도시화가 진행되는 소유역(성내-고덕천 유역)에 대하여 지하수 질산성질소의 공간적 분포에 미치는 영향요인을 규명하고 각 요인들의 오염기여도에 대한 상대적인 차이를 파악하기 위하여 GIS를 활용한 공간분석을 실시하였다. 영향요인으로는 토지이용도, 하수관 거리, 포장율, 녹지율 등을 고려하였다. 공간분석 결과, 토지이용도 중에서 도시화 지역과 경작지 등에서는 서로 상이한 질산성질소 분포가 나타났으며, 이는 도시화 지역에서는 하수관으로, 경작지에서는 비료성분으로 인하여 질산성질소 분포의 차이가 나타날 수 있음을 지시한다. 지하수 관점에서 하수관까지의 거리가 60~75 m 정도 지점까지는 거리의 증가에 따라 질산성질소 농도가 감소한다. 특히 도시화 지역 내에서 하수관 거리와 질산성질소 농도가 음의 상관도를 보이며, 이는 하수관이 질산성질소의 주 오염원임을 의미한다. 또한, 도시화 지역 질산성질소 농도와 포장율이 음의 상관도를 보이는 것도 질산성질소의 오염물질이 지표면에 기인하고 있음을 지시한다. 결과적으로 도시화가 급속히 진행되고 있는 지역에서는 하수관의 설치와 유지관리 및 토지이용형태에 대한 체계적인 관리가 지하수의 질산성질소 오염예방에 중요함을 의미한다.

주요어 : 질산성질소, 지하수 오염, GIS, 공간 분석, 영향 요인

1. 서 론

서울시 지하수는 생활하수와 경작지 등의 오염원에

의하여 영향을 받아 질산성질소(NO₃-N)가 검출되고 있다(이석민, 2001). 지하수 중의 질산성질소는 농어촌 지역뿐만 아니라 도시지역에서도 많이 검출되는 수질

*Corresponding author: ncwoo@ysgeo.yonsei.ac.kr

기준 항목으로 기준치 이상의 농도를 함유한 물을 지속적으로 음용했을 때의 위해성에 대해서는 이미 널리 알려져 있다(Katsifarakis, 2000). 따라서 질산성질소의 농도 분포와 그 영향요인의 관계를 명확히 규명하는 작업은 지하수의 오염방지와 수자원의 수질관리의 측면에서도 대단히 중요하다.

지하수 중의 질산성질소의 분포를 토지이용특성을 고려하여 분석한 연구로는 Alley(1993), Trojan *et al.*(2003), Hudak(1997, 1999), Reijnders *et al.*(1998), Worrall *et al.*(2002), 전효택과 안홍일(1998) 등이 있으며, 하수관에 관련하여 지하수 질산성질소의 공간 관계를 연구한 사례로는 Klimas(1997), Eiswirth and Hotzl(1997), Lawrence *et al.*(2000), McLay *et al.*(2001), 이석민(2001) 등이 있다. 이들 연구들은 토지이용형태를 구분하여 지하수 수질을 분석하거나, 하수관 설치 유무, 하수관 주변 영향환경 등을 질산성질소의 농도와 연관시켜 상관관계를 분석하였다. 이와 같은 선행연구들은 대체로 단일요인들과 질산성질소와의 관계를 규명하였으나, 도시화가 진행되는 지역에서는 다양한 요인들이 복합적으로 영향을 미쳐 지하수 질산성질소의 분포를 조절하게 된다.

따라서 이 연구는, GIS를 활용한 공간적 개념과 통

계분석을 통한 정량적 해석방식으로 산업화에 따라 농촌지역에서 도시화된 지역으로 변화하는 소유역에서 토지이용도, 하수관, 포장율 및 녹지율 등의 영향요인이 질산성질소 농도분포에 미치는 복합적인 영향을 규명하고자 수행하였다.

2. 대상지역 및 연구방법

2.1. 대상지역

대상지역은 서울 동남부에 위치한 성내-고덕천 유역이다(Fig. 1). 성내천과 고덕천은 북류하면서 한강으로 유입되며, 이 유역의 기반암은 편마암류이다. 성내천 지역 충적층의 두께는 10~15m이며, 주구성 물질은 세립, 중립질 모래로 이루어져 있으며, 한강 유입지역은 분급이 불량한 상태의 자갈 등이 분포한다. 고덕천 지역 충적층의 두께는 20m 이상이며, 중조립질의 모래와 자갈로 이루어진 지층이 한강 인접부에 넓게 분포되어 있다(서울특별시, 1996).

이 지역은 1970년대 초까지만 해도 서울 교외지역으로서 벼농사와 근교농업이 발달한 곳이었으나(강동구청, 2004), 1970년대 중반이후 준공업 지역 일부가 업무 및 주택지역으로 바뀌게 되었고, 대신 일부 지역

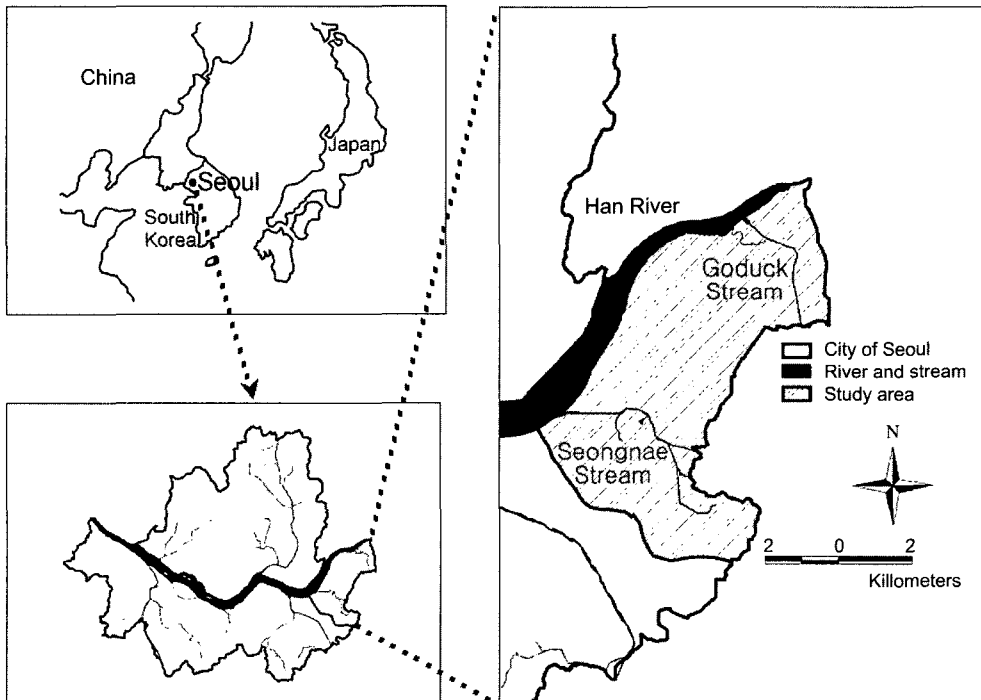


Fig. 1. Location of the study area, Seongnae-Goduck watersheds.

이 서울시로 편입되면서 섬유, 직물, 화학약품 및 벽돌 공장들이 이전해 옴에 따라 이들 지역은 농촌지역에서 점차 도시지역으로 모습을 바꾸었다. 그렇더라도, 아직 이 지역은 경작지가 남아있는 대표적인 서울시 외곽지역으로 도시지역도 상당한 범위를 점유하고 있어서, 도시화가 진행되는 지역에서의 지하수 질산성질소의 영향요인을 분석하기에 적합한 지역으로 판단된다.

2.2. 연구방법

이 연구는 대상지역 관정 및 영향요인의 GIS 데이터 구축, 토지이용 영향 점정, 하수관 거리의 영향 분석, 대상지역 지하수 질산성질소 영향요인 분석 등의 순서로 진행되었다. 구체적으로는, 토지이용, 하수관, 포장율, 녹지율 등의 영향요인을 GIS 데이터로 구축하고, 토지이용 요인이 지하수 질산성질소 분포에 미치는 차이를 통계적으로 비교하고, 대상지역에 하수관의 영향을 하수관으로부터의 거리를 바탕으로 분석하였으며, 포장율과 녹지율의 영향을 격자 당 포장율 및 녹지율을 산정한 후 해당 격자의 질산성질소 농도와 통계적으로 분석하였다. 최종적으로 지하수 질산성질소 분포에 토지이용 등의 영향요인들의 영향을 종합적으로 분석하였다.

지하수 수질에 대한 공간 분석을 하는 데 있어서 GIS는 유용하게 활용될 수 있음이 여러 논문에서 보고된 바 있다(김윤영과 이강근, 1999; Babiker *et al.*, 2003; Hudak, 2000; Thapinta and Hudak, 2003). 이 연구에서는 GIS를 이용하여 관정위치 포인트를 구축하고 여기에는 질산성질소 농도, 토지이용, 하수관거리 등을 입력하였다. 또한 자료의 해상도와 전산처리 용량을 고려하여 100x100 m 격자를 구축하여 토지이

용 면적비율, 포장율, 녹지율 등을 입력하였다(Table 1). 또한, 이 연구에서는 도시(Urban), 임야(Forest), 경작지(Crop field), 기타(Others)등 토지이용에 따라서 관정 데이터를 구분하였다. 여기서 기타지역에는 나대지와 하천 등이 포함된다.

대상지역의 지하수 관정은 516개로 Fig. 2와 같이 대상지역에 분포하고 있으며, 이들은 모두 서울시에서 2000년도에 수질을 검사하였다. 관정은 토지이용도별로 도시에 350개, 임야에 26개, 경작지에 128개, 기타에 12개 등이 분포하고 있어서 도시 지역과 경작지에 다수 관정이 개발되어 사용 중에 있음을 알 수 있다(Table 2). 그리고 면적은 도시가 56.7%, 임야가 18.6%, 경작지가 11.7%, 기타가 13.0% 등의 비중으로

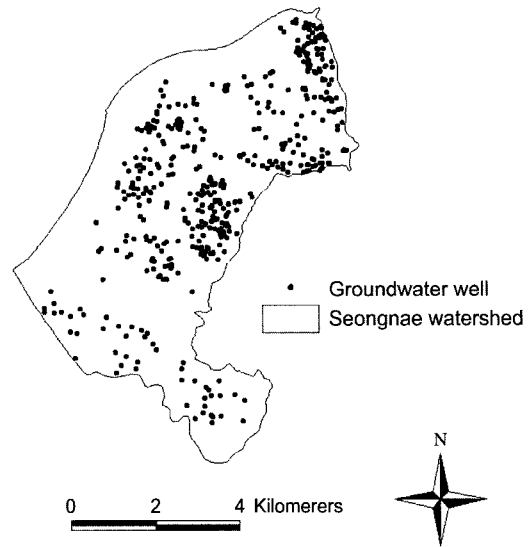


Fig. 2. Distribution of groundwater wells in the study area.

Table 1. GIS database constructed for this study.

GIS data theme	Data source	Scale (Pixel size)	Explanation
Well	Point	1 : 3,000	NO ₃ -N concentration, well depth, land-use, distance to the sewage system
Grid for correlation analysis	Polygon	(100 m)	areal ratio of land-use, impervious surface, green area

Table 2. The areal ratio and wells of land-uses in the study area.

Land-use	Area(k)	Areal ratio(%)	Number of wells
Urban	23.1	56.7	350
Forest	7.6	18.6	26
Crop field	4.8	11.7	128
Others*	5.3	13.0	12
Total	40.7	100.0	516

*Others include denuded area, inaccessible area, river and stream.

분포한다(Fig. 3a). 관정분포와 마찬가지로 도시 지역이 면적 비중이 가장 크지만, 경작지도 면적비중에 비해서는 관정의 분포가 많은 편임을 알 수 있다. 그리고 하수관거리(Fig. 3b), 포장율(Fig. 3c), 녹지율(Fig. 3d) 등을 GIS 데이터베이스로 구축하였다. 하수관 거리는 관정위치 포인트 데이터에 입력하였고, 포장율과 녹지율은 100×100 m 격자 폴리곤에 입력하였다. 포장율(Fig. 3c)은 도시 지역에서 높게 나타나고, 녹지율(Fig. 3d)은 임야 및 경작지에서 높게 나타난다.

지하수 중 질산성질소 자료들의 정규분포 기 위하여 Kolmogorov-Smirnov test(노형진, 실시하였다. Kolmogorov-Smirnov test는 표본 나타내는 분포와 어떤 특정한 이론분포 사이의 정도에 관한 것으로, 표본이 그 이론분포를 가지는 나의 모집단으로부터 추출된 것인지를 결정한다. Kolmogorov-Smirnov test로 질산성질소에 대해 정상 검정을 실시한 결과, 모두 유의수준이 0.05 미만으로 나타나서 이 연구에서 사용된 지하수 수질자료는

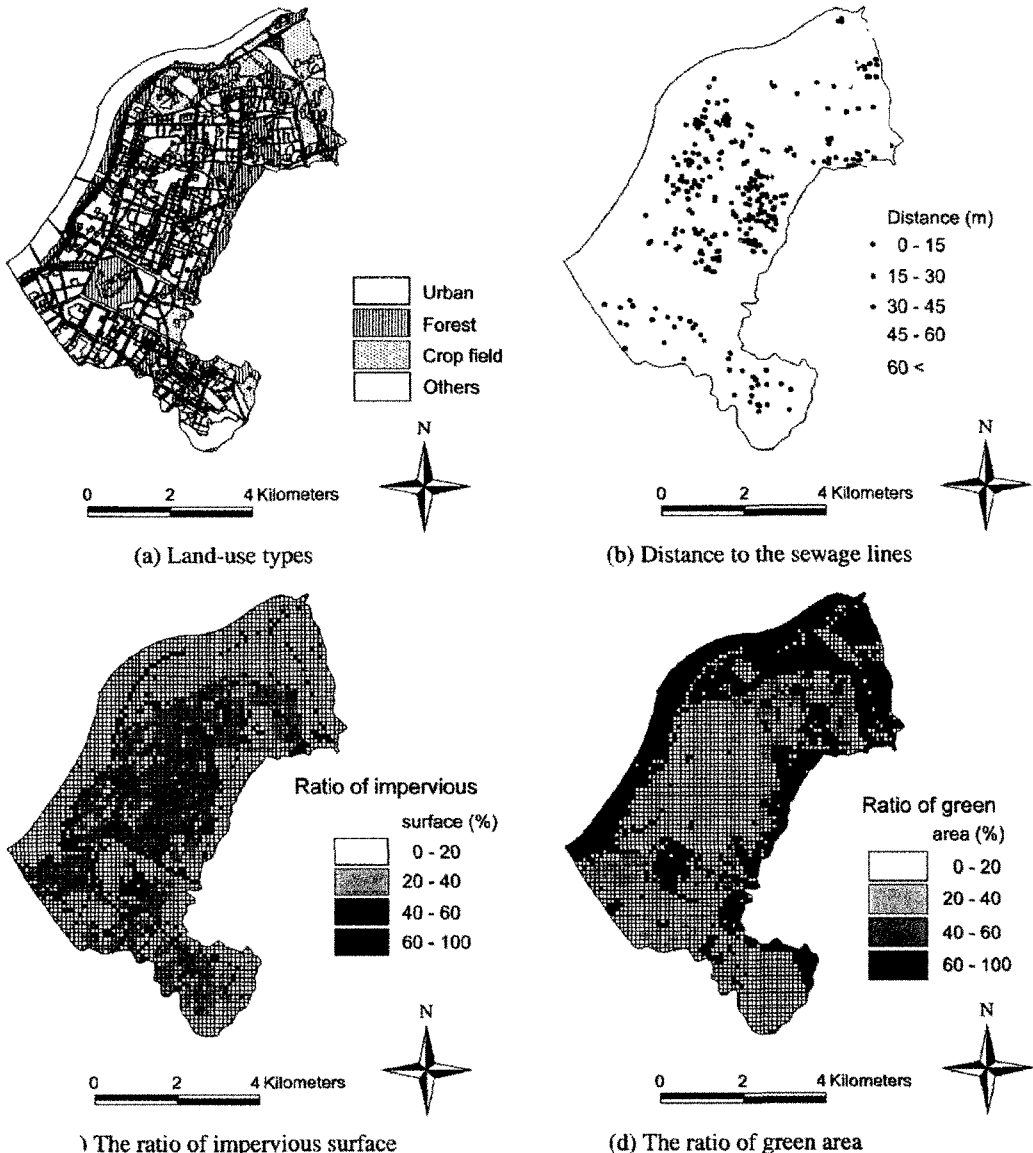


Figure 3. Data used in this study: (a) Land-use types, (b) Distance to the sewage lines, (c) The ratio of impervious surface, (d) The ratio of green area.

정규분포라고 보기 어려우므로 비모수 통계기법으로 분포를 분석하였다.

토지이용에 의한 영향은 토지이용별로 질산성질소 농도 데이터를 나누어 모집단 검정을 실시하였다. 모집단 검정은 대상집단을 그룹으로 나누어 해당 집단이 상이한 분포를 보이는지의 여부를 통계적으로 검정하여 해당집단들의 모집단이 상이한지 여부를 파악하기 위하여 사용되는 방법이다(안윤옥, 1991). 독립적인 두 표본으로부터 자료를 분석하는 비모수 검정법에서 가장 널리 쓰이는 것은 두 집단 평균에 대한 t검정이다. 그러나 어떤 자료들은 t검정의 가정을 만족시키지 못할 수 있으며, 그런 경우에 비모수 검정법을 적용한다. 이 연구에서 모집단 검정에 사용된 통계기법은 비모수 검정법에 해당하는 Mann-Whitney's U test(Hudak, 1999)를 적용하였다.

하수관망 거리는 점과 선 거리를 측정하는 GIS 연산을 통하여 계산하여 입력하였다. 구축된 데이터를 바탕으로 질산성질소를 종속변수로 관정심도와 하수관망 거리를 독립변수로 하여 상관도 분석을 실시하였다. 전술한 바와 같이 질산성질소가 정규분포를 하지 않으므로, 비모수상관도분석을 실시하였는데, 그 중에서 2조의 순위 데이터간의 상관 강도를 나타내는 상관계수 Spearman's rho test를 실시하였다. 이 검정방법에서는

2조의 데이터 x와 y를 각각 작은 순서로 바꿔 늘어놓고 순서위치로 변환한 다음 순위상관계수를 구한다. 순위상관계수는 x와 y의 관계가 직선적이 아니라도 단조롭게 증가 혹은 감소하는 관계라면, 유효한 지표가 된다(노형진, 1999). 참고로 본 연구에서 사용한 통계 프로그램은 SPSS for Windows 10.0이었다.

3. 결과 및 토의

3.1. 토지이용의 영향

토지이용별로 질산성질소 농도의 중간값을 살펴보면 경작지가 약 15 mg/l 로 가장 높게 나타나며 도시지역과 임야는 약 5 mg/l, 그리고 기타지역은 약 2 mg/l 정도로 나타나서, 토지이용에 따른 질산성질소 농도분포의 차이가 존재함을 볼 수 있다(Table 3).

토지이용도와 지하수 중의 질산성질소의 관계를 정량적으로 분석한 결과, 도시 지역과 임야는 모집단의 차이가 없었으나, 도시지역과 경작지, 임야와 경작지 사이에는 모집단의 차이에 의하여 질산성질소의 분포 차이가 있음이 나타났다(Table 4). 그리고 도시지역과 기타지역과는 질산성질소 분포에 차이가 없었으나, 기타지역과 임야나 경작지와는 질산성질소 농도분포에 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 토지이용 간에 대체

Table 3. Distribution of NO₃-N concentrations(mg/l) in different land-uses.

Land-use	Number of wells	Median	Minimum	Maximum
Urban	350	5.4	0.0	58.1
Forest	26	5.0	1.5	80.0
Crop field	128	14.9	0.0	47.9
Others	12	2.1	0.1	16.7
Total	516	6.6	0.0	80.0

Table 4. Results of Mann-Whitney's U test as p-values on the relations between NO₃-N concentrations and land-use types.

Land-use	Urban	Forest	Crop field	Others
Urban	-	0.313	0.000*	0.082
Forest		-	0.003*	0.021*
Crop field			-	0.000*
Others				-

*Statistically significant in the level of 0.05

Table 5. Results of Spearman's rho test on the relations between NO₃-N concentrations and land-use types.

Land-use	Correlation coefficient	p-value	Number of wells
Urban	-0.333*	0.000	350
Forest	-0.001	0.974	26
Crop field	0.394*	0.000	128
Others	-0.073	0.096	12

*Statistically significant in the level of 0.05

적으로 질산성질소 농도 분포에 차이가 있는 것으로 판단되지만, 도시 지역에 인접하거나 포함되어 있는 임야나 기타 지역들은 서로 질산성질소 농도 분포에 차이가 거의 없다는 것을 지시한다.

또한, 100×100 m 격자에 입력된 토지이용도에 따른 면적비율과 해당 격자에 포함된 지하수 관정의 질산성질소 농도 간에 상관도 분석을 실시한 결과, 도시화된 지역이 적을수록, 그리고 경작지가 넓을수록 질산성질소 농도가 높은 경향이 나타났다(Table 5). 과거의 주된 토지이용이었던 경작지에서의 농업활동의 영향이 전체적으로 크다는 추정을 할 수 있다.

3.2. 하수관 거리와의 상관성

도시지역에서는 질산성질소에 의한 지하수 오염이 하수관으로부터 생활하수와 오폐수의 누출로 발생할 수 있음이 보고된 바 있다(Eiswirth and Hotzl, 1997). 따라서 하수의 영향을 분석하기 위하여 하수관 거리와의 상관성을 토지이용, 지표면 특성 등과 연관하여 상관도 분석을 통하여 분석하였다.

연구지역에서는, 하수관으로부터 거리 30 m 이내에 위치하는 관정수(number of wells)가 가장 높은 빈도를 보이다가 거리가 멀어질수록 빈도가 낮아지며, 그

후 90 m 정도를 기점으로 다시 빈도가 증가하는 양상을 보인다(Fig. 4a). 전자는 하수관이 밀집한 도시 지역의 관정의 수가 반영된 것이고, 후자는 경작지 등 비도시 지역의 관정수가 반영된 것으로 해석된다. 질산성질소의 농도는 지하수관정으로부터 하수관까지의 거리가 60~75 m 정도까지는 거리가 멀어짐에 따라서 감소하며(Fig. 4b), 그 이후부터 다시 증가하는 추세를 보인다. 이로부터 60~75 m 정도까지가 하수관에 의한 영향이고 그 이후는 주로 경작지에 의한 오염으로 추정된다.

지표에 존재하는 대수층을 기준으로 충적층 관정들과 암반층 관정으로 구분하여 하수관거리와 질산성질소 농도와의 관계를 그려보면 Fig. 5a와 같다. 암반층 관정들이 하수관망 거리가 가까운 지역(30-45 m 구간)에서는 충적층 관정들 보다 높은 경향이다. 충적층은 주로 경작지에 분포하지만, 암반층은 도시지역에서 많이 나타난다. 또한 하수관은 도시지역에 잘 발달되어 있으므로 그 영향은 도시지역에서 우세한 대수층 관정에서 두드러질 것이다. 결과적으로 도시지역에 우세한 암반층 관정들에서 하수관의 영향이 충적층 관정들에서 보다 높게 나타날 수 있을 것으로 추정된다.

도시지역과 경작지를 구분하여 하수관 거리에 따른 질산성질소 농도 분포를 분석한 결과(Fig. 5b), 경작지

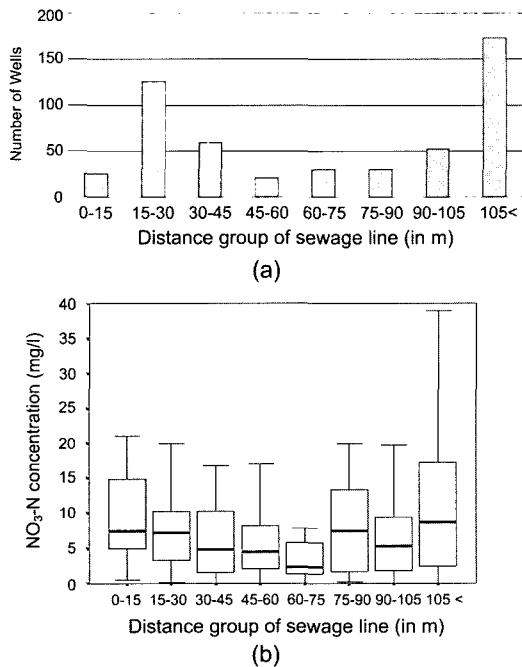


Fig. 4. (a) Number of wells, and (b) NO₃-N concentrations in the distance group of sewage line.

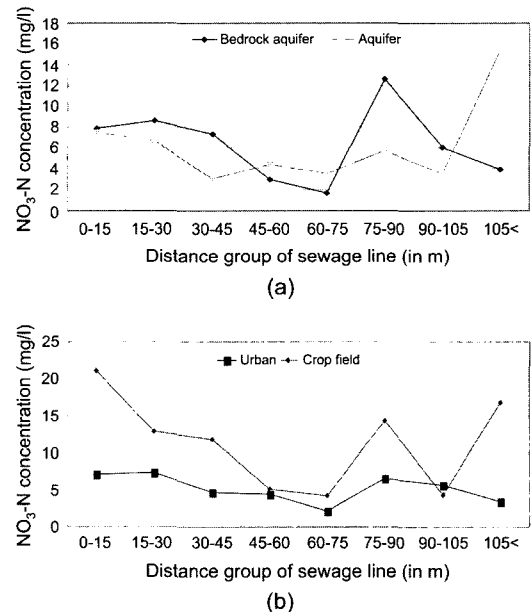


Fig. 5. NO₃-N concentrations with the distance group of sewage line in (a) different aquifers, and (b) different land-uses.

Table 6. Results of Spearman's rho test on NO₃-N concentrations with the distance to the sewage line.

Factor	Correlation coefficient	p-value	Number of wells
Distance to the sewage line	0.112*	0.011	516

*Statistically significant in the level of 0.05

Table 7. Results of Spearman's rho test on NO₃-N concentrations with the distance to the sewage line at different land-uses.

Landuse	Correlation coefficient	p-value	Number of wells
Urban	-0.210*	0.000	350
Forest	0.495*	0.010	26
Crop field	0.265*	0.003	128
Others	-0.586*	0.045	12

*Statistically significant in the level of 0.05

관정들에서는 60-75 m 거리 구간까지 급하게 감소되는 경향을 나타내다가 그 이후 구간에서 불규칙하게 변화하며, 도시지역 관정들에서는 완만히 감소하다가 약간의 증가 양상을 보인다. 이는 하수관이 관정으로부터 동일한 거리에 위치한 지역일지라도 도시지역보다는 경작지에서 질산성질소의 농도가 높음을 의미하며, 결과적으로 질산성질소의 주요 원인물질이 하수관에 기인하는 생활하수 오폐수보다는 농업활동에 의한 비료성분들이며, 이들이 쉽게 지하수 관정에 유입되고 있음을 의미한다.

전체 지하수관정에서의 질산성질소 농도와 하수관망 거리와는 유의한 수준에서 양의 상관성이 존재하는 것으로 나타났다(Table 6). 거리가 멀어질수록 질산성질소 농도의 증가를 의미하며 이는 전체적으로 경작지의 영향이 크다는 것을 시사한다. 그러나 토지이용별 하수관 거리와 상관도는, (i) 도시지역과 기타지역에서는 하수관에서 거리가 가까울수록 질산성질소 농도가 높았고, (ii) 임야와 경작지에서는 하수관망에서 멀수록 농도가 높은 것으로 나타났다(Table 7). 즉, 도시지역과 기타지역에서는 하수관이 지하수 내 질산성질소의 주요 공급원의 역할을 하고 있으며, 임야와 경작지에서는 오히려 농업활동과 비료성분이 주요 공급원 역할을 하는 것으로 해석된다.

3.3. 포장율 및 녹지율과의 상관성

도시화 지역과 비도시화 지역의 지표특성이 질산성질소에 미치는 영향을 분석하기 위하여 100x100 m 격자에 입력한 포장율 및 녹지율과 질산성질소 농도 분

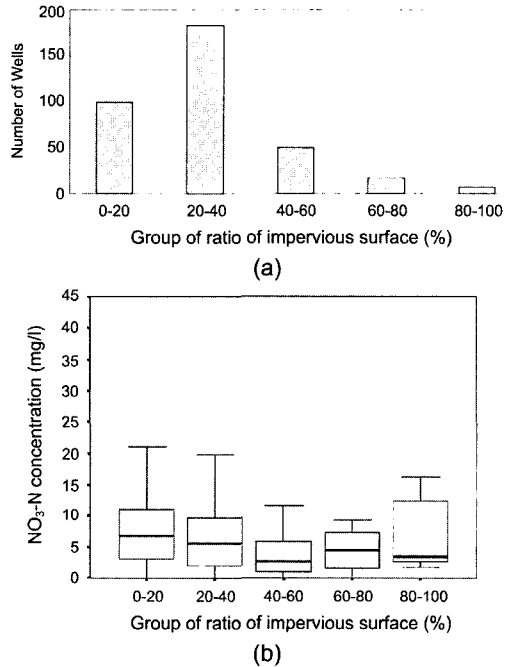


Fig. 6. (a) Number of wells, and (b) NO₃-N concentrations with the group of ratio of impervious surface.

포와의 상관도 분석을 실시하였다. 지하수 관정들은 포장율 20-40% 정도인 지역에서 가장 많은 수를 보였으며, 그 이후 감소하는 경향을 보인다(Fig. 6a). 전반적으로 질산성질소 농도는 포장율이 높아질수록 감소하는 경향을 보인다(Fig. 6b). 상관도 분석 결과, 도시화된 지역에서 포장율과 질산성질소 농도 간에 음의 상관도($r = -0.237$, $p\text{-value} = 0.000$)를 나타냈으며, 이는 포장율이 높아질수록, 지표 오염물질의 지하수계 유입이 차단되고 있음을 지시한다.

녹지율은 0-20%, 80-100% 구간에서 150개 이상씩의 높은 관정수를 보였다. 이는 낮은 녹지율의 도시지역과 높은 녹지율의 경작지에서 관정의 빈도가 높음을 의미하며, 그 사이의 관정들은 20-40개씩의 상대적으로 낮은 개수를 보이고 있다(Fig. 7의 a). 녹지율이 높아짐에 따라 질산성질소 농도도 높아지는데(Fig. 7의 b), 이는 경작지의 영향을 의미하는 것으로 해석된다.

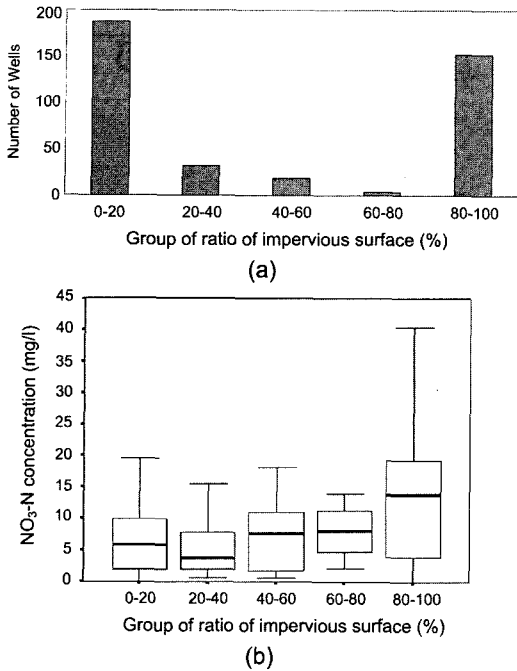


Fig. 7. (a) Number of wells, and (b) NO₃-N concentrations in the group of ratio of green area.

4. 결 론

이 연구에서는 도시화가 진행되는 소유역인 서울시 성내천-고덕천 유역 지하수 질산성질소에 대한 토지이용, 하수관 거리, 지표특성 등의 요인들의 복합적인 영향을 이 지역 토지이용을 도시, 임야, 경작지, 기타의 4개 그룹으로 구분하여 통계적으로 분석하였다. 경작지 비율이 높아질수록 질산성질소 농도가 높아져서, 농업 활동이 지하수 중의 질산성질소 분포의 주 원인임을 지시하며, 도시지역 내에서는 하수관 거리와 질산성질소 농도가 음의 상관도를 보여 질산성질소의 영향이 하수관의 누출에 의한 생활오폐수의 유입에 기인함을 의미한다. 도시화 지역의 질산성질소 분포와 지표면의 포장율이 음의 상관성을 보이는 것은, 도시화가 진행되면서 표면의 포장률이 증가됨에 따라 지표 오염물질의 유입가능성이 적어지고, 결과적으로는 지하수의 질산성질소 농도가 감소될 수 있음을 의미한다.

결론적으로, 도시화가 진행되고 있는 지역에서, 경작지로 남게 되는 지역에서의 지하수에 대해서는 농업활동과 비료의 사용에 대한 철저한 관리가 필요하며, 도시지역으로 개발되는 지역에서는 하수관을 포함한 지하구조물에 대해 철저한 관리와 정기적인 관측 및 체계적

인 관리가 지하수의 질산성질소 오염예방에 중요하다.

사 사

수질 및 관련 자료를 제공하여 주신 서울시 수질보전과 직원 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

김윤영, 이강근 (1999) 서울지역 지하수시스템의 수문지질학적 특성분석을 위한 지리정보시스템의 활용. 한국GIS학회지, 7권, p. 103-117.

노형진 (1999) 한글 SPSS에 의한 다변량 데이터의 통계분석. 석정, p. 223-234.

서울특별시 (1996) 서울특별시 지하수 관리계획 기본조사 보고서. 서울특별시, p. 19-49

안윤옥 (1991) 실용 의학통계론. 서울대학교 출판부, p. 165-166.

이석민 (2001) GIS를 이용한 지하수관리 의사결정모형 개발연구. 연세대학교 박사학위논문, p. 54-113.

전효택, 안홍일 (1998) 지리정보시스템에 의한 지하수 오염평가. 지하수환경학회지, 5권, p. 129-140.

강동구청 (2004) 강동구 현황. (<http://www.kangdong.seoul.kr>).

Alley, W. M. (1993) Regional groundwater quality. Van nostrand reinhold, New York, p. 297-322.

Babiker, I. S., Mohamed, M. A., Terao, H., Kato, K. and Ohta, K. (2004) Assessment of Groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using Geographic Information System. Environment International, v. 29, p. 1009-1017.

Eiswirth, M. and Hotzl, H. (1997) The impact of leaking sewers on urban groundwater. Proceedings of the 27th congress on Groundwater in the urban environment, Nottingham UK, September 21-27, p. 399-404.

Hudak, P. F. (1997) Landuse and groundwater quality in the Trinity group outcrop of north-central Texas, USA. Environment international, v. 23, p. 507-517.

Hudak, P. F. (1999) Chloride and nitrate distribution in the Hickory aquifer, central Texas, USA. Environment International, v. 25, p. 393-401.

Hudak, P. F. (2000) Regional trends in nitrate content of Texas groundwater. Journal of Hydrology, v. 228, p. 37-47.

Katsifarakis, K. L. (2000) Groundwater pollution control. WIT Press, Southampton, p. 3-4.

Klimas A. (1997) Impact of urbanization on shallow groundwater in Lithuania. Proceedings of the 27th congress on Groundwater in the urban environment, Nottingham UK, September 21-27, p. 463-468.

Lawrence, A. R., Goody, D. C., Kanatharana, P., Meesilp, W. and Ramnarong, V. (2000) Groundwater evolution beneath Hat Yai, a rapidly developing city in Thailand. Hydrogeology Journal, v. 8, p. 564-575.

McLay, C. D. A., Dragten, R. Sparling, G. and Selvarajah, N. (2001) Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use : a

- comparison of three approaches. *Environmental Pollution*, v. 115, p. 191-204.
- Reijnders, H. F. R., van Drecht, G., Prins, H. F. and Boumans, L. J. M. (1998) Quality of the groundwater in the Netherlands. *Journal of Hydrology*, v. 207, p. 179-188.
- Thapinta A. and Hudak, P. F. (2003) Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand. *Environment International*, v. 29, p. 87-93.
- Trojan, M. D., Maloney, J. S. Stockinger, J. M. Eid, E. P. and Lahtinen, M. J. (2003) Effects of land use on groundwater quality in the Anoka sand plain aquifer of Minnesota. *Groundwater*, v. 41, p. 482-492.
- Worrall, F., Besien, T. and Koplin, D. W. (2002) Groundwater vulnerability : interaction of chemical and site properties. *Science of the Total Environment*, v. 299, p. 131-143.

2004년 9월 30일 원고접수, 2004년 12월 14일 게재승인.