



## 논과 밭 지하수의 영양물질 농도 특성

### Characteristics of Nutrient Concentrations in Groundwater under Paddy and Upland Fields

장 훈\* · 김진수\*\*† · 김영현\*\* · 송철민\*\*\*

Jang, Hoon · Kim, Jin Soo · Kim, Young Hyeon · Song, Chul Min

#### ABSTRACT

The objective of this study was to compare concentrations of nutrients such as total nitrogen (TN), nitrate nitrogen (NO<sub>3</sub>-N) total phosphorous (TP), and phosphate phosphorous (PO<sub>4</sub>-P) in groundwater under paddy and upland fields, and surface water recharging from a rural mixed land-use watershed. Chinese cabbage and hot pepper were cultivated on the upland field plot. The TN concentrations in upland groundwater showed double peaks (4.7, 4.3 mg/L, respectively) in April 2009 shortly after fertilizer application, indicating that TN concentrations are greatly influenced by fertilization. However, the TN concentrations in paddy groundwater were always lower than 2.0 mg/L irrespective of fertilization.

Whereas the mean concentrations of TN and NO<sub>3</sub>-N in upland groundwater significantly ( $p < 0.05$ ) higher than those in surface water, the mean concentrations of TP and PO<sub>4</sub>-P in upland groundwater were significantly lower than those in surface water. On the other hand, the mean concentrations of TN, NO<sub>3</sub>-N, TP and PO<sub>4</sub>-P in paddy groundwater were significantly ( $p < 0.05$ ) lower than those in surface water. The TN concentrations in upland groundwater were generally higher than those in surface water during early April to early December due to the effect of fertilization, but vice versa in the other periods. In contrast, the TP concentrations in upland groundwater were always lower than those in surface water due to the sorption of inorganic phosphorous by soil. Moreover, the TN and TP concentrations in paddy groundwater were always lower than those in surface water, and therefore paddy groundwater may dilute nutrient concentrations in surface water when paddy groundwater and surface water mix.

**Keywords:** groundwater; paddy field; upland field; nitrogen; phosphorus

#### 1. 서 론

인간의 활동으로 인하여 지표수는 물론 지하수의 오염이 급속히 증가하고 있고, 우리나라에서도 지하수의 질산성 질소 (NO<sub>3</sub>-N) 농도가 음료수 수질 기준 (10 mg/L)을 넘는 지역이 증가하고 있다.

농업으로부터의 비점원 오염은 지표수와 지하수 모두의 수질에 영향을 미친다. 미국에서는 집중적인 관개가 지하수의 질산성 질소 농도를 높이는 것으로 보고되었다 (Halberg, 1989). 영국에서 농업은 농촌지역의 하천과 지하수 주요오염원으로 알려져 있고, 최근 유럽에서는 집약농업을 하는 농지로부터의 배수가 하천에서의 영양물질의 농도를 증가시키는 원인이 되고 있다 (Heathwaite

et al. 1996). 일본에서 Kumazawa (2004)는 질소 시비에 따른 지하수의 질산성 질소 오염에 대하여 보고하였고, Liu et al. (2005)은 중국 산동성 지하수에서 농업에 의한 질산성 질소 농도의 공간적 분포를 조사하였다.

국내에서 Oh et al. (2005)은 비모수 검정을 이용하여 여러 포장에서 측정된 논 지하수의 수질을 평가하였다. Choi et al. (2007)는 농촌지역에서의 다양한 토지이용이 지하수의 질산성 질소와 δ<sup>15</sup>N 농도에 미치는 영향을 조사하였다. Song et al., (2010)은 하천변 양배추 밭의 지하수와 유역 지표수의 영양물질 농도를 비교함으로써 밭에서의 영양물질 거동 특성을 검토하였다.

우리나라에서 밭은 하천변에 분포하고 있는 경우가 많고, 여기에 비교적 시비량이 많은 채소가 재배되는 경우에는 시용(施用)된 비료성분이 침투하여 평상시에도 지하수를 통하여 하천으로 유입될 가능성이 높다. 논 지하수에서의 영양물질의 농도는 기존의 연구 (Kim et al. 2001; Oh et al., 2005; Cho et al., 2006)를 통하여 상당부분 알려져 있으나, 밭 지하수의 수질 농도는 실측 자료 (Choi et al., 2007; Song et al., 2010)가 미흡

\* 한국수자원공사 한강통합물관리센터  
 \*\* 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과  
 \*\*\* 팔당호수질정착협의회  
 † Corresponding author Tel.: +82-43-261-2573  
 Fax: +82-43-271-5922  
 E-mail: jskim@cbnu.ac.kr

2011년 4월 18일 투고  
 2011년 10월 28일 심사완료  
 2011년 11월 1일 게재확정

하여 잘 알려져 있지 않다.

이에 본 논문에서는 농촌유역 하천변에 존재하는 논 지하수, 밭 지하수 및 유역 지표수 간의 영양물질 농도 특성을 비교함으로써 논과 밭의 지하수가 유역수질에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

## II. 방 법

### 1. 조사유역과 조사포장

본 조사지구는 충청북도 청원군 낭성면의 문박리와 인경리 (E 127° 35'~127° 37', N 36° 37'~36° 40') 일대로서 산림이 우세하고, 논과 밭으로 이루어진 전형적인 농촌 유역으로서 남한강 지류인 인경천 (지방하천)이 흐르고 있다. 조사 유역의 면적은 6.67 km<sup>2</sup>, 하천장은 5.4 km, 하천 경사는 0.015이며, 형상계수 0.22인 폭에 비하여 길이가 긴 유역특성을 갖고 있다. 유역 전체의 토지 이용 형태는 산림 80.6 %, 논 7.7 %, 밭 9.4 %로써 산림과 농지가 98 %를 차지하고 있다. 산림의 식생은 침엽수림 53 %, 활엽수림 31 %, 혼효림 16 %로 소나무, 전나무 및 낙엽송이 주류를 이루고, 주요 밭작물은 배추, 고추 등이 있다. 조사유역의 총인구는 240명이며 대규모의 축산단지나 공장 등의 점오염원이 조사유역에는 거의 존재하지 않는다. 조사 포장 (圃場)의 면적은 논이 0.10 ha, 밭이 0.13 ha이며, 표고는 283 m로 각 포장은 조사유역 말단의 하천에 인접하고 있으며, 시험 포장의 배후에는 산림이 위치하고 있다 (Fig. 1).

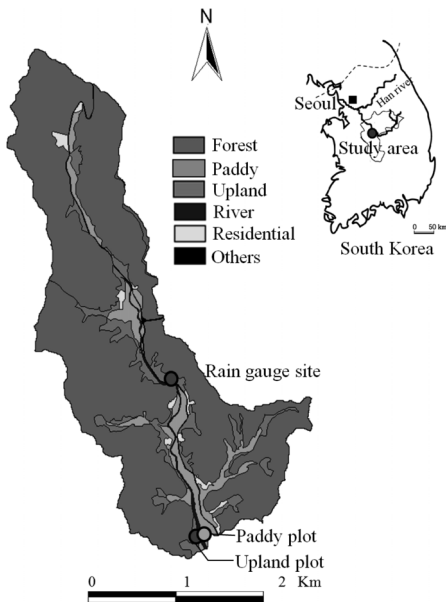


Fig. 1 Location of study area containing paddy and upland plots

### 2. 연구방법

2009년 1월부터 12월까지의 1년간, 4-5 월의 영농기에는 월 5-6회, 그 밖의 기간에는 월 3회 지하수와 지표수의 수위 및 수질을 측정하였다. 지하수의 관측정은 PVC 파이프를 이용하여 하천 인근의 밭, 홍수터, 논에 설치되었다 (Fig. 2).

지하수위 측정기 (Model 101, Solinst)를 이용하여 지하수위를 측정하였고, 강수량은 데이터 로거 형식의 강수량계 (103800D, Casella)를 조사유역 내에 설치하여 그 값을 얻었다. 지표수 및 지하수는 총질소 (TN), 질산성 질소 (NO<sub>3</sub>-N), 총인 (TP), 및 인산성 인 (PO<sub>4</sub>-P) 4개 항목에 대하여 분석하였다. 실험 방법으로는 수질 공정시험법에 따라 흡광광도분석법 (Ministry of Environment, 1997)을 이용하였다.

최종 유출구에는 압력식 수위계 (WL-14, Global Water)를 설치하여 1시간 간격으로 압력을 측정하였고, 측정된 압력과 정기적으로 측정된 유량과의 관계곡선을 이용하여 시간별 유량을 추정하였다. 강수량은 데이터 로거 형식의 강수량계 (103800D, Casella)를 조사유역 내에 설치하여 그 값을 얻었다.

논 지하수와 유역 지표수, 밭 지하수와 유역 지표수의 두 집단 간의 평균농도의 유의적 차이 여부를 검토하기 위해 MS Excel 2007을 이용하여 t 검정을 실시하였고, p<0.05인 경우 유의적 인 차이가 있는 것으로 판단하였다.

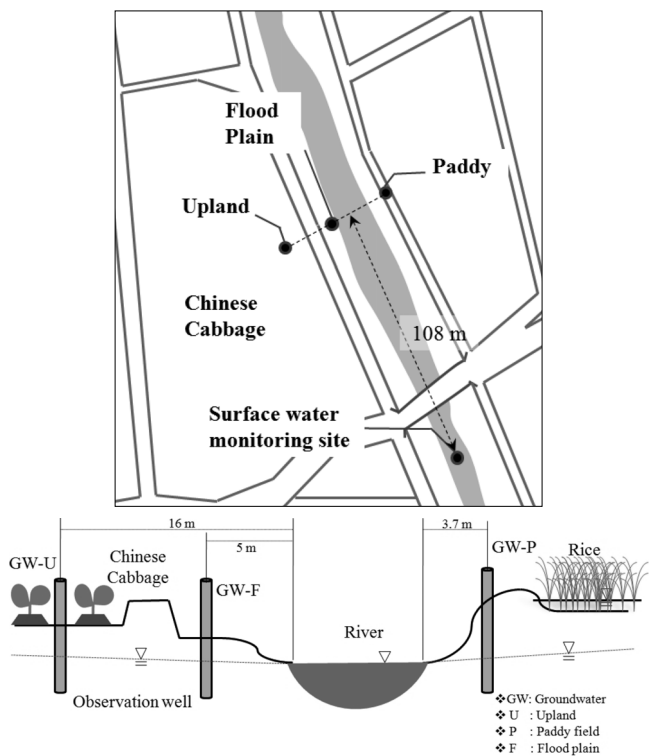


Fig. 2 Layout of groundwater observation wells

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 조사포장의 토양 특성

논 토양은 모래가 64.8 %, 실트가 22.0 %, 점토가 13.2 %로 구성되어 있으며, 밭 토양은 모래가 76.4 %, 실트가 15.9 %, 점토가 7.7 %로 구성되어 있다. 이를 토양의 물리적 특성을 분류하는 대표적인 방법의 하나인 미국 농무성 (USDA)의 삼각좌표법으로 분류하면 두 토양 모두 사질흙 (sandy loam)에 속하는 것으로 나타났다 (Table 1).

#### 2. 영농활동과 시비량

논에서는 벼를 5월 하순에 이앙하여 9월 하순에 수확하였고, 밭에서는 3월 하순에서 5월 초순까지 배추가, 5월 하순에서 9월 하순까지 고추가 재배되었다.

벼에의 시비는 연중 2회로, 5월 초순에 기비, 7월 중순에 분얼비가 실시되는 것으로 조사되었다. 시비된 질소와 인의 양은 120.8 N kg/ha, 25.8 P kg/ha로 표준시비량인 110.0 kg N/ha, 19.5 kg P/ha에 비해 질소가 1.1배, 인이 1.3배 시비된 것으로 조사되었다.

배추는 3월 하순에 기비와 4월 하순의 추비가 실시되었으며, 고추는 5월 하순에 기비만 실시되었다. 배추에 시비된 질소와 인의 양은 227.9 kg N/ha (기비: 45.3 kg N/ha, 추비: 182.6 kg N/ha), 73.5 kg P/ha로 표준시비량인 320.0 N kg/ha, 34.1 P

kg/ha에 비해 질소가 0.7배, 인은 2.1배 시비한 것으로 조사되었다. 고추에의 질소와 인의 양은 각각 90.6 N kg/ha, 52.8 P kg/ha로 표준시비량은 190 N kg/ha, 56 P kg/ha에 비해 질소가 0.5배, 인이 0.9배 시비된 것으로 나타났다.

#### 3. 강수량 및 유출량

연구기간인 2009년 1월부터 2009년 12월까지의 연강수량은 1019.8 mm로 기록되었고, 일 최고 강수량은 2009년 7월 10일에 80.5 mm를 기록하였다. 월 최고 강수량은 2009년 7월에 345.7 mm로 연 강수량의 34 %를 기록하였다. 조사기간 동안의 1년간 유출량은 610.6 mm로 유출률은 60 %로 나타났다 (Fig. 3).

#### 4. 지하수위

지하수위는 밭에서는 -2.29 ~ -2.08 m, 홍수터에서는 -2.51 ~ -2.36 m, 논에서는 -1.50 ~ -1.43 m의 범위에서 변동하여, 수위변동은 밭, 홍수터, 논에서 각각 0.21, 0.15, 0.07 m을 보여, 밭에서 가장 크게 나타났다 (Fig. 4).

지하수위는 밭에서는 강우에 의하여 변동하는 반면에, 논에서는 관개에 영향을 받는 것으로 나타났다. 밭 지하수위는 2월 하순부터 해빙과 함께 상승하기 시작하여, 강우 빈도가 증가함에 따라 수위가 계속 상승하여 7월 하순과 8월 하순에 최댓값 (-2.08 m)을 보인 후 하강하였다. 논은 지하수위는 4월 중순부터 관개에 의해 상승하기 시작하여 관개기에는 담수로 인해 비교적 고수위를 유지하다가, 8월에 초순과 하순에 최댓값 (-1.43 m)을 보인 후, 낙수가 시작되는 9월부터 점차 하강하였다 (Fig. 4).

Table 1 Physical characteristics of study plot soils according to textural triangle

Textural class	Paddy field	Upland field
Sand (%)	64.8	76.4
Silt (%)	22.0	15.9
Clay (%)	13.2	7.7
Soil class	Sandy loam	Sandy loam

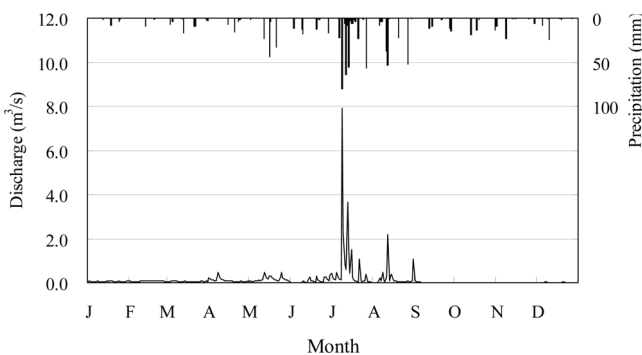


Fig. 3 Temporal variation of precipitation and runoff discharge in study area

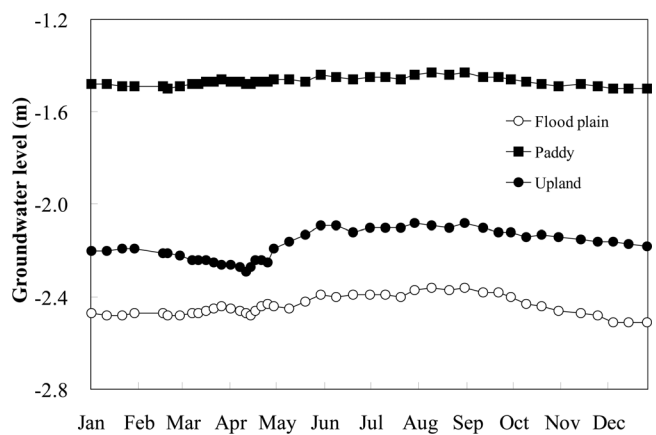


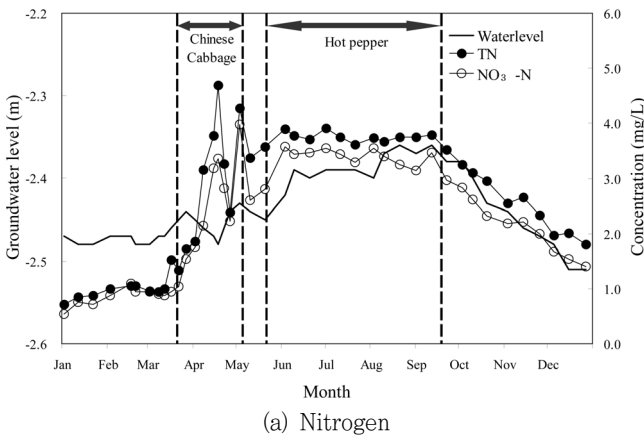
Fig. 4 Temporal variation of groundwater level

#### 5. 지하수 농도의 변화

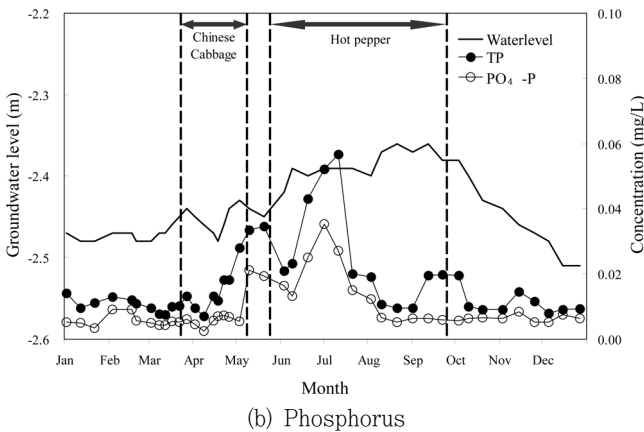
밭 지하수의 TN 농도는 겨울에는 1.0 mg/L 전후의 낮은 농

도를 유지하다가, 기비 직후 급격히 증가하여 4월 중순과 추비 직후인 4월 하순에 2번의 최댓값 (각각, 4.7 4.3 mg/L)을 보인 후 감소하였다. 또한, TN 농도는 5월 하순에 고추 재배 전 기비로 인해 증가하였다가 6~9월까지의 빈번한 강우로 비교적 높은 값 (3.6~3.9 mg/L)을 유지하였다 (Fig. 5(a)). 또한 영농 활동이 종료된 9월 하순 이후에는 질소농도는 서서히 감소하는데, 이는 고추에는 추비가 없었고 강우빈도와 강우량이 감소하였기 때문으로 생각된다. 그러나 NO<sub>3</sub>-N 농도가 최댓값 (4.0 mg/L)을 보인 경우에도 지하수 음용수의 수질기준인 10.0 mg/L에는 도달되지 않았다.

밭 지하수의 TP 농도는 4월 하순부터 7월 초순까지 0.02~0.06 mg/L의 값을 보였으나, 그 전후에는 0.02 mg/L의 범위에서 크게 변동하지 않았다 (Fig. 5(b)). 이러한 경향은 같은 지역을 대상으로 수행한 선행연구 (Song et al., 2010)에서 나타나는데, 특히 우기에 농도가 더 높게 나타난 것은 2008년 6월경부터 관측정 부근에 쌓아놓은 우분으로부터 인 성분이 강우와 함께 지하로 침투했기 때문으로 생각된다. 콜로이드상태 (1 nm

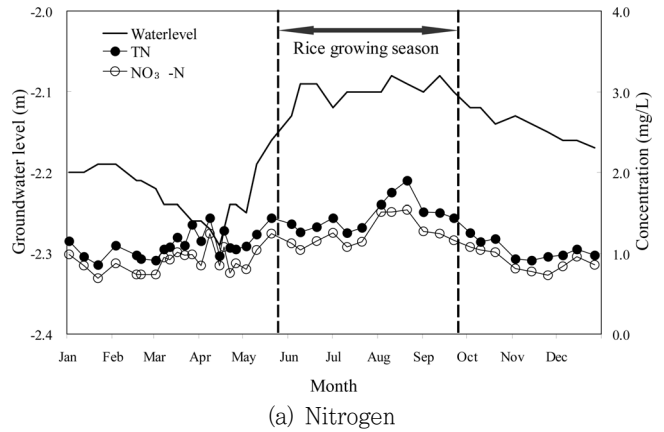


(a) Nitrogen

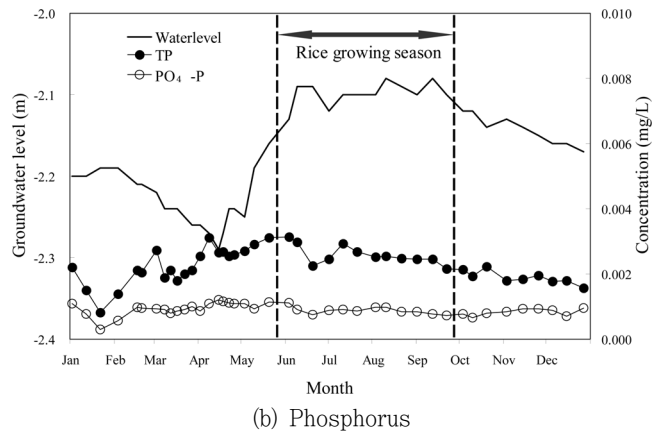


(b) Phosphorus

Fig. 5 Change of nutrient concentrations in the groundwater under upland field



(a) Nitrogen



(b) Phosphorus

Fig. 6 Change of nutrient concentrations in the groundwater under paddy field

- 1 μm)의 인은 토양 내에서 쉽게 안정화되지 않아 지하를 통하여 쉽게 이동하는 것으로 알려져 있다 (Kretzschmar et al. 1999).

논 지하수의 TN 농도는 최댓값이 2.0 mg/L 이하로 비영농기에는 1.0 mg/L 이하의 낮은 값을 보였다. 또한, TP 농도는 0.01 mg/L 이하의 매우 낮은 값을 보였다 (Fig. 6). 논 지하수의 영양물질 농도는 비료가 투입되는 영농기에도 유역 지표수의 농도보다 낮게 나타나, 표준시비량 이하의 범위 내에서는 논 지하수에 대한 영양물질 관리의 거의 필요 없는 것으로 생각된다.

6. 유역 지표수와 논 밭 지하수의 평균농도

논 지하수와 유역 지표수, 밭 지하수와 유역 지표수에서의 영양물질의 산술평균농도에 대한 t검정을 실시한 결과, 모든 항목에서 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다 (Table 2와 3). 밭 지하수와 유역 지표수 간의 평균농도는 TN과 NO<sub>3</sub>-N의 경우 유역 지표수보다 밭 지하수에서 높게 나타났으나, TP와 PO<sub>4</sub>-P의 경우 밭지하수보다 유역 지하수에서 높게 나타났다 (Table 2).

논 지하수와 유역 지표수 간의 평균 농도는 모든 항목에서 논 지하수보다 유역 지표수에서 높게 나타났다 (Table 3).

TN 평균농도에 대한 NO<sub>3</sub>-N 평균농도의 비율은 밭 지하수에서 86 %, 논 지하수에서 83 %, 지표수에서 80 %를 보여 지표수나 지하수에 관계없이 대부분 용존성의 형태로 존재하는 것으로 나타났다. 조사지역 밭 지하수에서의 NO<sub>3</sub>-N의 평균농도 (2.3 mg/L)는 150~400 kg N/ha이 사용된 경기도 채소밭 지대의 지하수에서 보고된 평균농도인 6.1 mg/L (Choi et al., 2007), 634 kg N/ha이 사용된 중국 밭지대의 평균 농도 8.1 mg/L (Liu et al., 2005)보다 낮게 나타났다 (Table 4). 또한, 이 값은 미국 메릴랜드주 옥수수 밭에서의 8~10월의 평균농도인 15.1 mg/L (Weil et al. 1990), 170 kg N/ha이 사용된 일본 기후현 (岐阜縣) 채소밭 지대에서 보고된 57.1 mg/L (Babiker et al., 2004)

보다 훨씬 낮은 값에 해당된다.

조사지역 논 지하수에서의 TN의 평균농도 (1.2 mg/L)는 충북 대 부속농장 표준시비구에서의 평균농도인 2.4 mg/L (Cho et al., 2006)보다 낮게 나타났는데, 이는 토양의 물리적 특성의 차이와 논 포장 배후에 있는 산림 등의 영향 때문으로 생각된다. 한편, TP 평균농도에 대한 PO<sub>4</sub>-P 평균농도의 비율은 밭 지하수에서 53 %, 논 지하수에서 40 %, 지표수에서 11 %를 보여 지하수에서는 인이 상당부분 용존성 형태로 존재하나, 지표수에서는 대부분 입자성 형태로 존재하는 것으로 나타났다.

7. 유역 지표수와 논 밭 지하수의 시기별 농도 비교

TN 농도는 유역 지표수와 밭, 홍수터 지하수에서는 유사한 경향을 보였고, 중간지점인 홍수터에서는 밭 지하수와 유역 지표수의 중간적인 특성을 보였다 (Fig. 7(a)). 12월 하순부터 3월 초순까지는 유역 지표수의 농도가 밭 지하수의 농도보다 높게 나타났으나, 영농활동이 이루어지는 3월 중순부터 12월 중순까지는 밭 지하수의 농도가 유역 지표수의 농도보다 높게 나타났다. 이와 같이 유역 지표수와 밭 지하수의 농도가 시기별로 역전하는 것은 비영농기에는 밭의 배후지에 있는 산림으로부터 유입하는 지하수의 영향으로 낮은 농도를 보이다가, 영농기에는 강우와 함께 밭에 시비된 질소가 침투되어 농도를 높이기 때문으로 생각된다. 시비의 영향을 받기 전인 1~2월에 밭 지하수의 TN 농도는 1.0 mg/L 전후의 낮은 값을 보였는데 (Fig. 7(a)), 이는 배후 산림으로부터 유입되는 지하수의 영향 때문으로 생각된다. 미국의 산림 지하수에서의 NO<sub>3</sub>-N 농도도 1.0 mg/L으로 보고되었다 (Gburek and Folmar, 1999). 일본에서도 질산성 질소에 의한 지하수 오염은 논 지역을 제외한 여러 곳에서 발견되었다 (Kumazawa, 2004). Kim et al. (2002)은 강우가 증가하면 토양에 축적된 오염물질 (주로 비료)로부터의 질산염의 용탈이 증가한다고 보고하였다. TN 농도는 논 지하수에서는 영농기에도 2.0 mg/L 이하의 낮은 값을 보였는데, 이는 밭에 비하여 시비량이 적고, 담수토양에서 발생하는 탈질작용 때문으로 생각된다. 밭 지하수의 질소 농도는 영농기에 시비의 영향으로 유역 지표수의 농도보다 높게 나타나므로 시비량의 저감, 시비량이 적은 작물

Table 2 Mean and range of nutrient concentration between surface water and upland groundwater

Type	Mean concentration (mg/L)			
	TN	TP	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
No. of samples	42	42	42	42
Groundwater in upland field	2.6 (0.7~4.7) <sup>†</sup>	0.02 (0.01~0.06)	2.3 (0.5~4.0)	0.01 (<0.01~0.04)
Surface water	2.2 (1.4~3.9)	0.05 (0.01~0.27)	1.8 (0.8~3.6)	0.02 (0.01~0.09)
Significance	p<0.01	p<0.001	p<0.001	p<0.001

† Values in parenthesis indicate the range of nutrient concentration

Table 3 Mean and range of nutrient concentration between surface water and paddy groundwater

Type	Mean concentration (mg/L)			
	TN	TP	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
No. of samples	42	42	42	42
Groundwater in paddy field	1.2 (0.9-1.9) <sup>†</sup>	<0.01	1.0 (0.7-1.5)	<0.01
Surface water	2.2 (1.4~3.9)	0.05 (0.01~0.27)	1.8 (0.8~3.6)	0.02 (0.01~0.09)
Significance	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001

† Values in parenthesis indicate the range of nutrient concentration

Table 4 Comparison of mean nitrate concentration in the groundwater under upland field

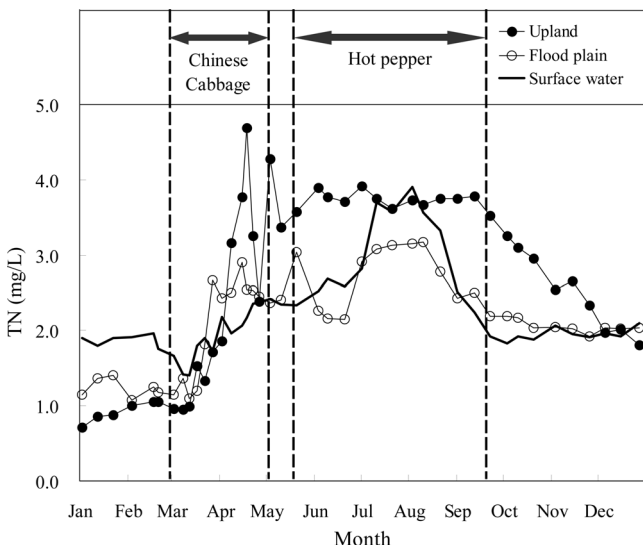
Source	Location	Precipitation (mm)	Vegetation	Nitrogen application rate (kg N/ha)	Mean concentration. (mg/L)
This study	Chungbuk, Korea	1020	Chinese cabbage, Hot pepper	319	2.3 (0.5-4.0) <sup>†</sup>
Choi et al. (2007)	Gyeonggi, Korea	1526	Vegetables	150-400	6.1 (0.1-23.8)
Liu et al. (2005)	Shandong, China	565	Winter wheat, Summer corn	634	8.1
Weil et al. (1990)	Maryland, USA	950	Corn	240	15.1
Babiker et al. (2004)	Gifu, Japan	1915	Vegetables (Carrot)	170	57.1

† Value in parenthesis indicates the range of nutrient concentration

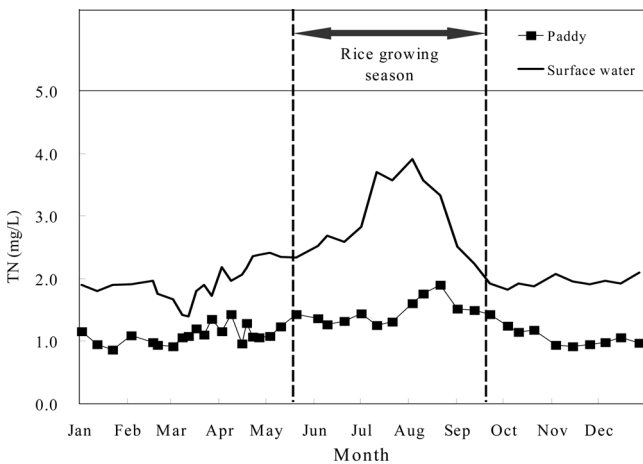
선택 등으로 밭 지하수에 대한 질소 관리가 필요할 것으로 생각된다. 논 지하수의 TN 농도는 변동이 작고 유역 지표수와 비교하여 항상 더 낮은 값을 보였다 (Fig. 7(b)).

따라서, 논밭 지하수와 유역지표수가 만나는 경우, 밭 지하수는 상당기간 동안 유역 지표수의 TN 농도를 상승시키는데 반하여, 논 지하수는 유역지표수의 TN 농도를 하강시키는 것으로 생각된다.

TP 농도는 밭지하수에서는 대부분 0.03 mg/L 이하의 비교적 낮은 값을 보였고, 논 지하수에서는 항상 0.01 mg/L 미만의 낮은 값을 보여, 항상 유역 지표수보다 논밭 지하수에서 낮게 나타났다 (Fig. 8). 논밭 지하수의 TP 농도가 모두 낮게 나타나는

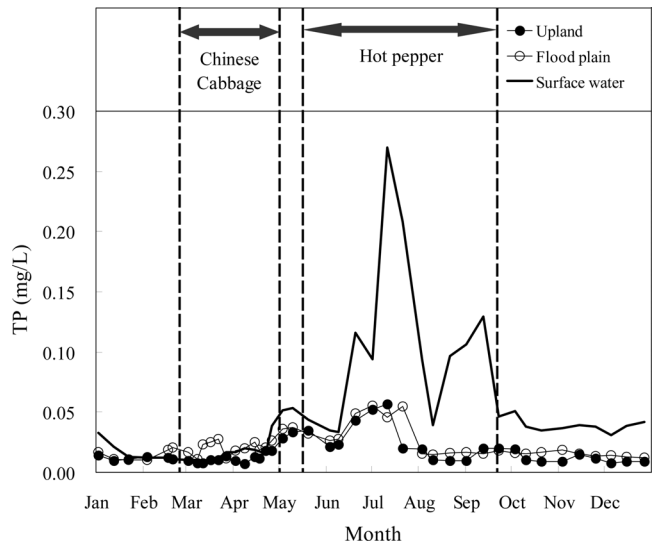


(a) Upland field

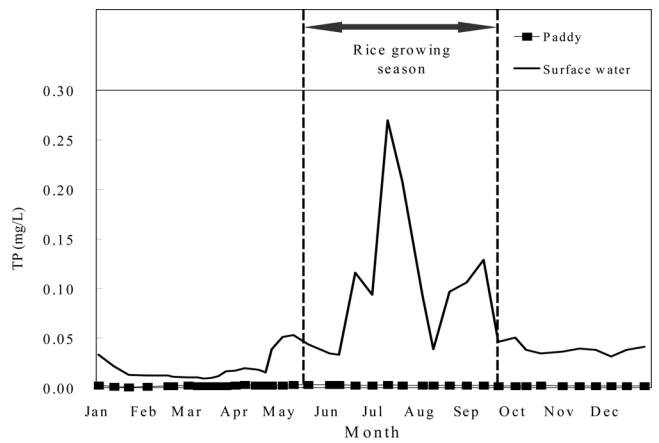


(b) Paddy field

Fig. 7 Comparison of nitrogen concentrations between surface water and groundwater



(a) Upland field



(b) Paddy field

Fig. 8 Comparison of phosphorous concentrations between surface water and groundwater

것은 무기성 인이 침투수와 함께 이동하면서 토양에 흡착되기 때문으로 생각된다. 따라서 논 밭 지하수가 유역지표수와 만나는 경우, 논 밭 지하수 모두 항상 유역 지표수의 TP 농도를 하강시키는 것으로 생각된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 1년 동안 농촌유역에서의 하천변 논과 밭의 지하수 및 유역 지표수를 대상으로 영양물질 (TN, TP, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P)의 농도 특성을 파악하고, 하천변 지하수가 유역 수질에 미치는 영향을 검토하였다. 여기서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지하수위는 밭에서는 강우의 영향을 받고, 논에서는 담수의

영향을 받는 것으로 나타났고, 밭에서는 -2.29 ~ -2.08 m, 논에서는 -1.50 ~ -1.43 m의 사이에서 변동하여, 수위변동은 논보다 밭에서 크게 나타났다.

2. 밭 지하수와 유역 지표수간의 평균농도는 TN과 NO<sub>3</sub>-N의 경우 밭 지하수가 유역 지표수보다 유의적 ( $p < 0.05$ )으로 높게 나타났으나, TP와 PO<sub>4</sub>-P의 경우 유역 지표수가 밭 지하수보다 유의적으로 높게 나타났다. 한편, 논 지하수와 유역 지표수간의 영양물질의 평균농도는 모든 항목에서 유역 지표수가 논 지하수보다 유의적으로 높게 나타났다.

3. 밭 지하수와 유역 지표수의 TN 농도는 시기별로 역전하는 현상을 보였다. 밭 지하수의 TN 농도는 4월 초순부터 12월 초순까지는 유역 지표수의 농도보다 높게 나타났으나, 그 외의 시기에는 낮게 나타났다. 이는 비영농기에는 밭의 배후에 있는 산림 지하수의 영향으로 낮은 농도를 유지하다가, 영농기에는 강우와 함께 밭에 시비된 질소가 침투되어 농도를 높이기 때문으로 생각된다.

4. 밭 지하수의 TP 농도는 항상 유역 지표수의 농도보다 낮은 값을 보여, 밭 지하수가 유역 지표수와 만나는 경우 밭 지하수는 유역 지표수에 대해 희석작용을 하는 것으로 나타났다.

5. 논 지하수의 TN과 TP의 농도는 유역 지표수의 각각의 농도보다 항상 낮은 값을 보여, 논 지하수가 유역지표수와 만나는 경우 논지하수는 유역 지표수에 대해 희석작용을 하는 것으로 생각된다.

이와 같이 논은 밭보다 상대적으로 적은 시비량, 담수토양에서의 탈질작용, 토양에 의한 인의 흡착 등으로 낮은 지하수의 수질을 나타내고 있는 것으로 보인다. 향후, 논밭 지하수의 유황 및 유속을 측정함으로써 논밭 지하수와 유역 지표수간의 영양물질의 상호작용을 보다 명확히 파악할 수 있으리라고 생각된다.

이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## REFERENCES

1. Babiker, I. S., M. A. Mohamed, H. Terao and K. Ohta, 2004. Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. *Environment International* 29(8): 1009-1017.
2. Cho, J. W., J. S. Kim, K. Y. Oh, and S. Y. Oh, 2006. Pollutant concentration at experiment paddy plots during irrigation season. *J. of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(3): 97-106 (in Korean).
3. Choi, W. J., G. H. Han, S. M. Lee, G. T. Lee, K. S. Yoon, S. M. Choi, and H. M. Ro, 2007. Impact of land-use types on nitrate concentration and  $\delta^{15}\text{N}$  in unconfined groundwater in rural areas of Korea. *Agriculture, Ecosystem, and Environment* 120: 259-268.
4. Gburek W. J., and G. J. Folmar, 1999, Flow and chemical contributions to streamflow in an upland watershed: A base study, *J. of Hydrology*. 217: 1-18.
5. Halberg, G. R., 1989. Nitrate in groundwater in the United States. In *Nitrogen Management and Groundwater Protection: Developments in Agricultural and Managed-Forest Ecology* 21. ed. R. F. Follett, 35-74. Elsevier, New York.
6. Heathwaite, A. L., P. J. Jones, and N. E. Peters, 1996. Trend in nutrients. *Hydro. Process* 10(2): 263-293.
7. Kim, J. S., S. Y. Oh, K. S. Kim, and S. K. Kwon, 2001. Characteristics of pollutants concentrations at paddy field areas during irrigation periods. *J. of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43(6): 163-173 (in Korean).
8. Kim, K. H., S. T. Yun, G. T. Chae, B. Y. Choi, S. O. Kim, K. J. Kim, H. S. Kim, and C. W. Lee, 2002. Nitrate contamination of alluvial groundwaters in the Keum River watershed area: Source and behaviors of nitrate, and suggestion to secure water supply. *J. of Engineering Geology* 12(4): 471-484 (in Korean).
9. Kretzschmar R., M. Borkovec, D. Grolimund, and M. Elimelech, 1999, Mobile subsurface colloids and their role in contaminant transport, *Advances in Agronomy*, 66: 121-193
10. Kumazawa, K., 2004. Nitrogen fertilization and nitrate pollution in groundwater in Japan: Present status and measures for sustainable agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 63: 129-137.
11. Liu G.D., W. L. Wu, and J. Zhang, 2005. Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate nitrogen in groundwater in northern China. *Agriculture, Ecosystem, and Environment* 107: 211-220.
12. Ministry of Environment, 1997. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (in Korean).

13. Oh, S. Y., J. S. Kim, and K. Y. Oh, 2005. Evaluation of percolated water quality of paddy fields using nonparametric test. *J. of the Korean Society of Agricultural Engineers* 47(2): 99-110 (in Korean).
14. Song, C. M., J. S. Kim, and H. Jang, 2010. Nutrient behavior in an upland field of cabbage adjacent to the river. *J. of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(3): 65-71 (in Korean).
15. Weil, R. R., R. A. Weismiller, and R. S. Turner, 1990. Nitrate contamination of groundwater under irrigated coastal plain soils. *J. of Environmental Quality*. 19: 441-448.