

## 시설재배지의 재배방법 및 입지적 조건이 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량에 미치는 영향

고지연\* · 이재생 · 김민태<sup>1)</sup> · 김춘송 · 강위금 · 강항원<sup>2)</sup>

작물과학원 영남농업연구소, <sup>1)</sup>작물과학원, <sup>2)</sup>농촌진흥청  
(2005년 8월 3일 접수, 2005년 9월 16일 수리)

### Effects of Farming Practice and NO<sub>3</sub>-N Contents of Groundwater with Different Locations under Intensive Greenhouse Area

Jee-yeon Ko\*, Jae-sang Lee, Min-tae Kim<sup>1)</sup>, Choon-song Kim, Ui-gum Kang, Hang-won Kang<sup>2)</sup> (National Institute of Crop Science, Yeongnam Agricultural Research Institute, Milyang, 627-803, <sup>1)</sup>National Institute of Crop Science, Suwon, 441-100, <sup>2)</sup>Rural Development Administration, Suwon, 441-100)

**ABSTRACT:** To investigate effects of farming practice and NO<sub>3</sub>-N contents of groundwater in intensive horticultural greenhouse area of Yeongnam province, the groundwater samples from 1,370 sites were collected and analyzed. In addition, cultivation year, crops, desalinization methods, amounts of manure application, tube well depth and soil texture with clay contents were observed. Of the investigated sites, 19.7% of shallow groundwater and 1.3% of confined groundwater were exceeded over 10 mg/ℓ as the NO<sub>3</sub>-N drinking limit value, respectively. NO<sub>3</sub>-N concentration in groundwater was highly significantly correlative with clay content ( $r=-0.241^{**}$ ), well depth ( $r=-0.228^{**}$ ) and cultivation duration ( $r=0.104^*$ ), respectively. In case of desalting crop method being executed for desalinization of greenhouse soil, the NO<sub>3</sub>-N value of groundwater was lower than any other desalinization method. The fact that NO<sub>3</sub>-N contents of confined groundwater was affected by shallow groundwater was clarified by that NO<sub>3</sub>-N contents in shallow were significantly correlative with the confined groundwater ( $r=0.532^{**}$ ).

**Key Words:** Shallow groundwater, Confined groundwater, NO<sub>3</sub>-N, Farming practice, Horticultural greenhouse

### 서론

수질 중 질산태 질소(NO<sub>3</sub>-N)는 환경 및 보건학적 관점에서 관심의 대상이 되는 성분으로 지표수 및 지하수내 존재하는 NO<sub>3</sub>-N은 수계로 흘러 들어가면 호소, 연못 등과 같은 정체형 수계에서 부영양화를 일으키는 원인이 되고, 음용수로 사용할 경우 혈액 중 헤모글로빈내 Fe를 변형시켜 산소와 결합할 수 없도록 만들어 유아에게 치명적인 청색증 유발 및 체내에 발암물질중 하나인 N-nitroso 화합물을 형성하는 성분이다<sup>1)</sup>. 뿐만 아니라 농업적으로 이용할 때도 작물의 과번무, 병충해 발생 증가 등의 질소과잉 장해를 나타내므로 우리나라에서는 수질 중 NO<sub>3</sub>-N 함량을 음용수 10 mg/ℓ, 농업용 수질 20 mg/ℓ 이하로 규정하고 있다<sup>2)</sup>.

지하수는 지표수 자원의 양적, 질적부족이 심화되고 있는 요즘 중요한 대체수자원으로 이용되고 있는데<sup>3)</sup> 지하수 NO<sub>3</sub>-N 오염의 주된 원인 중 하나가 농업활동이라는 사실은 1975년 미국 텍사스에서 주택지 인근 관정의 NO<sub>3</sub> 함량이 6~14 ppm 인데 반하여 농업지대 및 인접지의 관정 내 함량은 21 ppm으로 더 높았다는 조사결과를 비롯한 여러 문헌에서 보고되고 있다<sup>4,6)</sup>. 우리나라의 농업지대 지하수 오염에 관해서는 주로 비료 및 유기농자재와 같은 N source의 투입이 많고 연중 집약재배가 이뤄지는 시설재배지인근의 지하수 NO<sub>3</sub>-N 오염에 관해 Jung 등<sup>7,8)</sup>, Kim 등<sup>9)</sup>에 의해 조사 보고되었다.

시설재배지에서 주로 사용하는 천층지하수는 지하수면 상부에 불투수층이 없으므로 위치한 지역의 토양단면 성질에 직접적인 영향을 받는다<sup>10-12)</sup>. 따라서 시설재배지 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량은 시설재배지가 위치한 토양, 지형, 지하수 깊이 등의 입지적 조건과 투입자원에 따른 시비 및 재배방법 등의 영농 조건에 따라 차이가 날 수 있다<sup>8,13)</sup>.

\*연락처:

Tel: +82-55-350-1267 Fax: +82-55-353-3050  
E-mail: kjeeyeon@rda.go.kr

본 연구는 시설재배지 지하수의 NO<sub>3</sub>-N 농도 및 이에 영향을 미치는 여러 인자에 대한 정보를 파악하고 농업에 의한 지하수오염을 저감시키기 위한 기초자료를 얻고자 시설재배년수, 재배작물, 제염방법, 유기질 자원 투입량 및 종류 등의 재배방법과 지하수 형태(천층수 및 암반수), 지하수 깊이, 토성, 배수등급 등 시설재배지의 입지적 조건이 지하수내 NO<sub>3</sub>-N 농도에 미치는 영향을 살펴보았다. 또한 집약 농업지대에서 천층지하수가 심층 암반지하수 수질에 영향을 미치는지 알아보기 위해서 동일지역의 천층지하수와 암반지하수내 NO<sub>3</sub>-N 함량 사이의 관계를 살펴보았다.

**재료 및 방법**

조사지역의 입지적 조건 및 재배방법이 시설재배지 지하수 NO<sub>3</sub>-N 농도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 영남지역 전체에 걸쳐 시설재배가 집약적으로 이뤄지고, 재배면적이 3,000 ha가 넘는 10개의 시군을 선정하여 1999년~2001년간 지하수 시료 채취 및 분석하였다. 채취된 총 1,370지점 중 불투수층이 없는 대수층에서 형성된 지하수를 이용하는 천층지하수가 67.2%, 불투수층을 지나서 형성된 암반지하수가 32.8%를 차지하고 있었다. 시료채취지역 및 지점수는 표 1 및 그림 1과 같다.

강우는 천층지하수의 수질에 직접적인 영향을 미치므로<sup>14)</sup> 강우가 지하수 NO<sub>3</sub>-N함량에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 시료의 채취는 영남지역 월 평균강수량이 평년 총 강수량(1,233~1,491 mm)의 월 평균값(102.8~124.3 mm)과 유

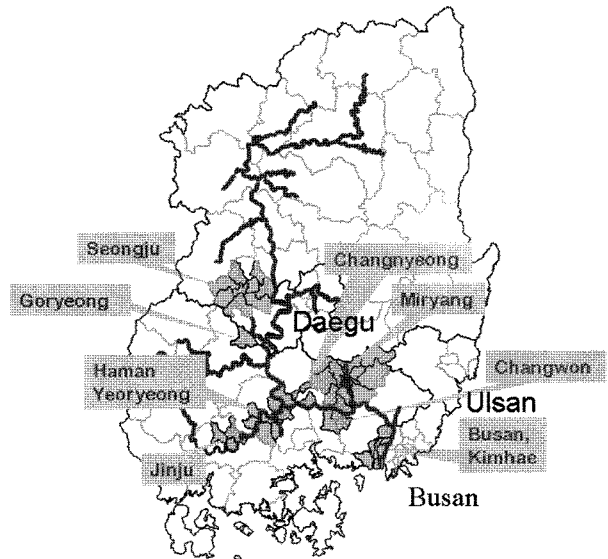


Fig. 1. Investigated area in Yeongnam province.

사하고, 시설재배지에서 지하수를 많이 사용하는 시기인 4~5월 사이에 조사하였다. 대표적인 조사지역의 월별 평년강수량 분포는 표 2에 나타내었다.

시설재배지의 영농활동은 시료채취 당시 농민을 직접 만나 설문조사를 통해 재배현황을 청취 조사하였는데 시설재배년수, 재배작물, 지하수 깊이 등의 사항과 윤작체계, 시비방법, 유기질 비료의 투입량 및 종류 등의 재배방법을 조사하였다. 시료채취 지점의 입지적 조건은 각 군의 정밀토양도(1:25,000)를

Table 1. The number and location of investigated sites according to groundwater's levels

Ground-water level	Gyeongbuk		Gyeongnam								Total
	Nackdong river area		Nackdong river area					Nam river area			
	Go-ryeong	Seong-ju	Mi-ryang	Chang-won	Chang-nyeong	Kim-hae	Busan	Yeo-ryeong	Ham-ahn	Jinju	
Shallowly charged	24	339	140	50	31	78	92	18	54	94	920
Confined aquifer	22	62	84	44	43	-	-	43	136	16	450
Total	46	401	224	94	74	78	92	74	190	110	1370

\* ref.) Investigated year  
 1999: Miryang  
 2000: Kimhae, Busan  
 2001: Goryeong, Seongju, Changwon, Changnyeong, Yeoryeong, Hamahn, Jinju

Table 2. Amounts of average monthly precipitation of investigated area

City	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Busan	37.8	44.9	85.7	136.3	154.1	222.5	258.8	238.1	167.0	62.0	60.1	24.3	1491.6
Jinju	33.1	42.6	75.5	135.3	131.0	217.7	291.0	285.8	155.9	52.7	48.8	20.5	1489.9
Miryang	21.7	30.4	54.1	104.6	104.3	199.8	241.9	230.4	136.6	49.4	43.0	17.6	1233.8

이용하여 토성, 지형, 배수 등급, 모재 등을 실내에서 조사하였다.

또한 천층수의 NO<sub>3</sub>-N 함량과 심층수의 NO<sub>3</sub>-N 함량 사이의 상관관계를 알아보기 위하여 각각의 조사지점별 천층수의 NO<sub>3</sub>-N 농도를 지도상에 나타낸 후 우리나라 음용수 수질기준과 농업용수 수질기준인 1 mg/ℓ 미만, 1~10 mg/ℓ, 10~20 mg/ℓ, 20 mg/ℓ 이상의 4가지 기준에 따라 단일지역으로 드로잉 함으로써 천층지하수 NO<sub>3</sub>-N 농도가 유사한 조사지점끼리 그룹화하고, 그 그룹내 지점들의 천층수와 암반수의 평균 NO<sub>3</sub>-N 값을 구하여 상관관계를 조사하였다.

### 결과 및 고찰

#### 조사지역 지하수 및 시설재배 경작현황

수질조사지역의 시설재배지 지하수 깊이별 분포는 그림 2에서와 같이 나타났다.

조사지역중 1~10 m 깊이의 얇은 대수층에 존재하는 지하수는 부산, 진주, 김해지역에서 가장 많았다(부산 100%, 진주 63%, 김해 56%). 특히 부산지역은 조사면적의 58%가 바다의 영향을 받아 형성된 하해혼성층적토(사두 34%, 등구 24%)로서 심층지하수의 염농도는 지하수 생성모재와 해수의 영향으로 작물의 관개수로 사용할 수 없는 수준으로 높아 시설재배지에서 사용하는 지하수는 모두 천층지하수였다. 반면 의령, 함안지역에서 사용하는 지하수의 70~74%은 불투수층을 통과하고 30 m 이상 내려간 깊이에 대수층이 있는 암반지하수로서 지역에 따라 사용하는 지하수의 깊이는 많이 상이하였다.

그림 3은 조사지점의 시설재배년수별 분포를 나타낸 것으로 영남지역 주요 시설재배지의 67~96%는 재배년수가 20년 미만으로 나타났다. 20년 이상으로 장기재배한 지점은 성주, 부산지역이 각각 33%, 21%로 많은 편이었고, 낙동강변의 창녕지역은 경남에서 시설재배가 가장 오래된 남지음을 포함하고 있음에도 불구하고 그 외 읍면이 재배 연수가 짧아 10년 미만의 시설재배지가 가장 많았다.

시군별 퇴비사용량은 성주를 제외한 모든 지역에서 시설재배지 퇴비사용 권장량인 3 t/10a 이상으로 투입하는 농가가 50% 이상이었으며 밀양, 창녕, 진주, 부산은 6 t/10a 이상 사용하는 농가가 20%를 초과하여서 시설재배지 토양에서의 유기질비료의 축적이 심각한 수준임을 알 수 있었다(그림 4). 사용되는 퇴비는 대부분 질소 및 인 함량이 높은 돈분, 우분, 계분 등의 동물성 부산물 퇴비로서 사용된 퇴비의 영양염류가 강우나 관개로 토양으로부터 용탈되어 지하로 침투하면 지하수의 NO<sub>3</sub>-N 함량을 증가시키고, 지표수로 수계에 흘러 들어가면 비점오염원의 하나로 수질오염을 일으킬 우려가 있다<sup>12,13,15)</sup>. 따라서, 영남지역 시설재배지의 경우 화학비료 뿐만 아니라 퇴비 또한 토양점정을 통한 적량투입이 필요하다고 생각되었다. 성주지역이 다른 지역보다 퇴비사용량이 적었던 것은 주작물인 참외의 재배특성인 질소과다에 의한 발효과

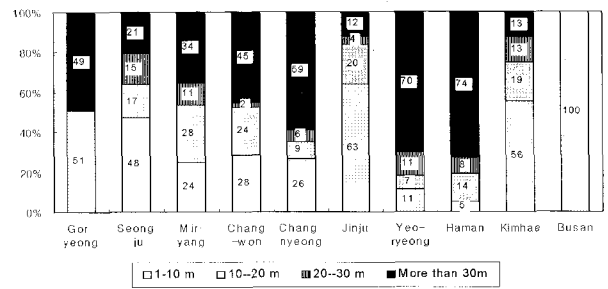


Fig. 2. Distribution ratio of well depth under intensive greenhouse area in observed province.

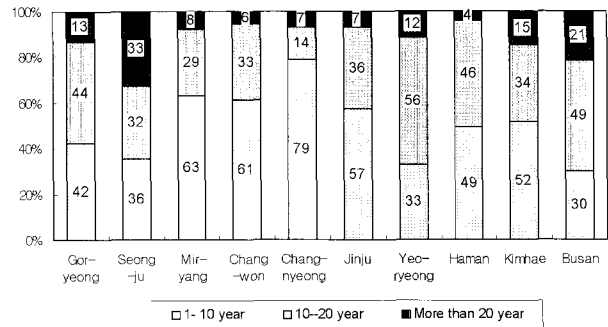


Fig. 3. Distribution ratio of crop cultivation periods to wells under intensive greenhouse area in observed province.

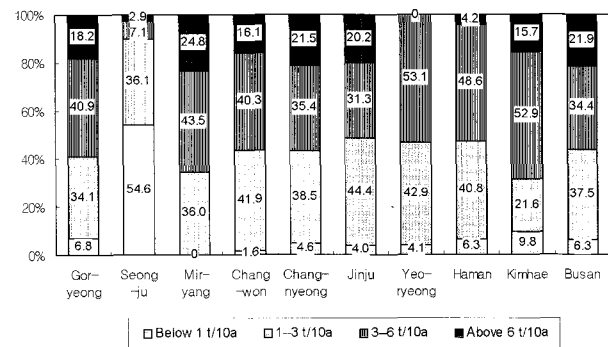


Fig. 4. Distribution ratio of wells according to application amounts of livestock manure under intensive greenhouse area in observed province.

발생증가와 같은 품질저하를 피하기 위함으로 생각되었다<sup>16)</sup>.

#### 조사지점의 NO<sub>3</sub>-N 농도의 평균값 및 분포

표 3은 조사지점의 NO<sub>3</sub>-N 농도의 평균값, 최소값, 최대값 및 수질기준에 따른 분포상태를 나타낸 것이다. 조사지점의 평균 NO<sub>3</sub>-N 함량은 천층수 6.7, 암반수 1.3 mg/ℓ 였으나 최대값은 천층수 87.8 mg/ℓ, 암반수 21.4 mg/ℓ 의 농도를 나타내는 지점도 있어 지점에 따른 변이가 컸다. 조사지역 중 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량의 최대값이 나타난 지점은 지하수 깊이가 얇고, 시설재배년수가 30년 이상 오래되었으며 입지한 토양의 점토함량이 매우 낮은 특성을 가지고 있었다.

**Table 3. Average NO<sub>3</sub>-N concentration and its distribution in the groundwater sampling sites under intensive greenhouse cultivated area of Yeongnam**

Item		Confined groundwater	Shallow groundwater	Total
Concentration (mg/ℓ)	Mean	1.3	6.7	5.0
	Minimum	0	0	0
	Maximum	21.4	87.8	87.8
No. of sites and distribution rate of NO <sub>3</sub> -N concentration	0~10 mg/ℓ	444 (98.7)*	739 (80.3)	1183 (86.4)
	Above 10 mg/ℓ	6 (1.3)	181 (19.7)	187 (13.6)
	Above 20 mg/ℓ	2 (0.4)	82 (6.3)	84 (6.1)
	Total	450 (100)	920 (100)	1370 (100)

\* Number in ( ) denotes the distribution ratio of their correspondent sites

수질기준에 따른 분포를 보면 천층수의 19.7%, 암반수의 1.3%가 우리나라 음용수 수질기준인 10 mg/ℓ 를 초과하였으며, 농업용수 수질기준인 20 mg/ℓ 를 초과하는 지점은 천층수 6.3%, 암반수 0.4%로 나타났다.

#### 재배작물별 사용되는 지하수의 NO<sub>3</sub>-N 농도 분포

표 4는 시설재배지 재배작물별로 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량을 나타낸 것이다. 조사지역 중 가장 많이 재배되었던 참외의 시설재배지 지하수 NO<sub>3</sub>-N은 평균 4.1 mg/ℓ 로서 과채류 중 수박, 딸기, 토마토 재배지와 함께 비교적 함량이 낮은 편이었고 고추, 오이, 호박재배지의 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량은 각각 7.5, 12.3, 13.9 mg/ℓ 로 높았는데 참외 재배지 지하수의 NO<sub>3</sub>-N 함량이 높지 않았던 것은 발효과 발생을 줄이기 위해 퇴비시용을 적게 하는 참외재배의 특징에 기인하는 것으로 생각되었다<sup>16)</sup>. 화훼류 중에서는 목본류인 장미 재배지에서 초생류인 카네이션 재배지보다 함량이 높은 경향이였다.

#### 농업활동 및 입지적 조건이 지하수 질상태 질소 함량에 미치는 영향

농업활동이 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량에 미치는 영향을 살펴보기

위하여 시설재배 년수, 퇴비시용량, 제염방법별 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량을 지역별로 나타내었다(표 5). 지역별로 농도의 차이는 있었으나 모든 지역에서 재배년수가 증가할수록 지하수내 NO<sub>3</sub>-N함량이 증가하여서, 10년 미만 재배시 평균 4.5 mg/ℓ, 10~20년 5.0 mg/ℓ, 20년 이상 재배시 6.6 mg/ℓ 의 값을 나타내었다. 대부분의 지역에서 10년~20년의 NO<sub>3</sub>-N증가(평균증가량: 0.5 mg/ℓ)보다 20년 이상의 장기재배시 증가(평균증가량: 1.6 mg/ℓ)가 크게 나타났는데 이는 토양이라는 매질 내에 축적된 질소가 재배년수의 증가에 따라 수용한계를 넘어 NO<sub>3</sub>-N 용탈이 지속적으로 일어나 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량이 급격히 누적되었기 때문이라고 생각된다.

퇴비시용량은 평균적으로는 시용량의 증가에 따라 지하수 NO<sub>3</sub>-N도 증가하는 경향이였으나 지역별로는 다르게 나타나 밀양, 함안, 진주, 창녕지역을 제외하고는 시용량 증가에 따라 증가하지 않았다. 이는 퇴비시용량의 영향이외에 지하수 깊이나 입지한 지역의 토성, 재배년수 등 다른 요인이 복합적으로 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량에 더 크게 영향을 미쳤기 때문이라고 생각되었다.

시설재배지 토양의 제염방법이 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량에 미치는 영향은 전체적으로 담수제염시 NO<sub>3</sub>-N농도가 가장 높고,

**Table 4. NO<sub>3</sub>-N concentrations of groundwater used in each cultural crop under greenhouse area**

Observed conc.	Oriental melon	Water melon	Pepper	Straw-berry	Tomato	Cucum-ber	Pumpkin	Perilla	Rose	Carnation	Else
Average (mg/ℓ)	4.1	3.3	7.5	3.8	3.7	12.3	13.9	5.3	7.5	2.7	8.0
Maximum (mg/ℓ)	87.8	57.7	81.9	37.6	28.5	65.9	73.8	23.1	72.3	20.1	77.7
Minimum (mg/ℓ)	tr*	tr	tr	tr	tr	0.1	tr	tr	0.3	0.3	0.0
No. of sites	456 (32.7)**	240 (17.2)	203 (14.5)	195 (14.0)	65 (4.7)	27 (1.9)	19 (1.4)	53 (3.8)	17 (1.2)	17 (1.2)	104 (7.4)

\* tr: Below 0.1 mg/ℓ

\*\* Number in ( ) denotes the distribution ratio of their correspondent sites

**Table 5. Changes of NO<sub>3</sub>-N content in groundwater with farming practices in each cultural locations under intensive cultivated greenhouse area (unit : mg/ ℓ)**

Cultural conditions		Go -ryeong	Seong -ju	Mi -ryang	Chang -won	Chang -nyeong	Kim -hae	Busan	Yeo -ryeong	Ham -ahn	Jinju	Av.
Crop cultivation periods (Years)	1~10	4.3	4.0	1.6	3.1	7.7	3.4	2.3	2.5	1.1	16.4	4.5
	10~20	3.7	5.2	1.9	4.3	10.3	3.6	3.1	3.7	1.5	19.4	5.0
	Above 20	8.9	6.0	2.9	5.8	17.2	8.9	5.0	3.8	3.6	21.4	6.6
Amounts of manure application (t/10a)	1~3	5.2	4.8	1.3	5.3	4.5	4.6	6.8	5.5	1.1	15.7	5.1
	3~6	4.6	5.3	2.4	4.1	3.9	3.2	1.9	2.1	1.5	15.1	3.9
	Above 6	4.9	3.6	2.9	1.3	22.0	1.0	3.6	-	4.6	23.5	10.8
Methods of desalinization	Soil dressing	-	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3
	Flooding	4.6	5.7	-	-	10.0	-	-	-	0.7	21.4	10.2
	Rice culture	4.5	5.7	-	-	9.6	-	-	3.1	1.5	12.4	4.0
	Overturn of subsoil	-	7.9	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9
	Desalting plant	-	2.4	-	-	-	-	-	-	-	3.3	2.7
	No treatment	4.0	5.5	2.7	-	0.8	-	-	-	0.2	33.3	6.4

ref) The denotation (-) means that the observed site is absent

심토반전, 제염 없음, 벼, 객토, 제염작물의 순이었다. 담수제염을 한 지점의 지하수 NO<sub>3</sub>-N이 가장 높았던 것은 NO<sub>3</sub>-N이 토양 중에서 물의 흐름을 따라 대류전달(Convection flow)에 의해 다량으로 용탈이 발생하는 이온<sup>10,17)</sup>이기 때문으로 생각된다. 시설작물의 후작으로 벼를 재배하는 지역이 담수제염을 한 지역보다 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량이 낮았던 것은 벼의 생장에 따른 질소 흡수가 NO<sub>3</sub>-N의 지하수 용탈을 저해하였기 때문으로, 일반적으로 벼의 성장시 사용된 질소의 40~50%는 작물에 흡수되고 2~9%가 지하로 침투되는 것으로 알려져 있어<sup>10,18)</sup> 후작으로 biomass가 큰 벼를 재배하였을 때 담수제염보다 지하로 NO<sub>3</sub>-N의 이동이 억제되었다고 생각된다. 또한 벼를 재배하는 지역은 대개 수직으로 물 빠짐이 느린 식양질 토양이므로 담수제염을 시행하는 지역보다 표층 질소의 지하수로 용탈이 느리게 일어났으리라 생각된다. 심토반전은 영양염류 성분이 축적된 표토가 심토로 직접 유입됨에 따라 제염을 하지 않은 지점보다 오히려 지하수 NO<sub>3</sub>-N 성분이 증가되는 결과를 나타내었으므로 지하수 수질의 측면에서는 바람직하지 않은 방법이었다. 제염방법 중에는 제염작물을 재배한 지점의 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량이 가장 낮았는데 식생이 NO<sub>3</sub>-N 용탈 억제에 효과적이라는 사실은 Di<sup>13)</sup>, Staver<sup>19)</sup>, Steven<sup>20)</sup> 등 여러 문헌에 보고된 바와 같은 결과였다.

시설재배 입지조건이 지하수 NO<sub>3</sub>-N 농도에 미치는 영향을 지역별로 표 6에 나타내었는데 지하수 NO<sub>3</sub>-N 농도는 대

부분의 지역에서 지하수 깊이가 증가함에 따라 뚜렷이 감소하는 경향이였다. 그러나 성주, 함안은 깊이가 30 m 보다 얕은 경우 NO<sub>3</sub>-N 농도 차이가 별로 없다가 그 후 뚜렷이 저감되고, 창원, 의령, 밀양은 20 m 보다 깊은 지하수는 농도변화에 일정한 경향이 없는 등 깊이별 저감정도는 지역별로 차이가 있었다. 이는 지하수의 NO<sub>3</sub>-N 함량은 불투수층을 기점으로 급격하게 변화하는데 지역별로 토양내 불투수층이 나타나는 깊이가 달라 이에 영향을 받았기 때문이라 생각되었다. 그리고 고령은 10 m 미만의 천층수(4~10 m)와 30 m 이상의 심층수(70 m~180 m)만 분포하는 지역이었는데, 두 지하수의 깊이차이에 비하면 NO<sub>3</sub>-N 농도 차이가 크지 않은 것으로 보아 이 지역의 심층수는 천층수의 수질에 직접적으로 영향을 받았을 가능성이 있었다.

시설재배 입지지역의 토성별로는 성주를 제외한 모든 지역에서 사토쪽으로 갈수록, 점토 함량별로는 점토 함량이 감소할수록 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량이 뚜렷이 증가하는 경향을 나타내어 토양의 완충력이 적고 물빠짐이 좋은 사양토에서 대류이동에 의한 NO<sub>3</sub>-N 용탈이 컸던 것으로 생각되었다. Kolenbrander<sup>21)</sup>는 NO<sub>3</sub>-N 대류이동에 미치는 토양입자의 영향에 대하여 모래함량이 많을수록 용탈량이 크고, 점토함량이 40% 이상 되는 토양(Sandy clay, Clay, Silty clay)에서는 용탈량의 감소가 거의 일정하지만 그 이하에서는 점토 함량에 따른 변화가 크다고 보고한 바 있다. 이와 같이 지하수 NO<sub>3</sub>-N은 토양

**Table 6. Changes of NO<sub>3</sub>-N content in groundwater by locational conditions under intensive cultivated greenhouse area(unit : mg/ ℓ)**

Location condition		Go-ryeong	Seong-ju	Mi-ryang	Chang-won	Chang-nyeong	Kim-hae	Busan	Yeo-ryeong	Ham-ahn	Jinju	Av.
Tube well depth (m)	1~10	5.4	5.0	5.1	8.0	20.0	6.0	4.4	9.4	4.1	22.0	8.2
	10~20	-	5.0	3.5	4.6	18.3	2.2	-	8.8	2.7	15.0	5.4
	20~30	-	5.8	0.8	0.4	4.3	1.9	-	0.6	3.3	5.8	3.6
	Above 30	3.5	2.4	0.8	1.1	1.7	1.4	-	2.1	0.9	3.3	1.5
Soil texture	Sandy	12.6	4.4	7.4	-	30.6	-	27.1	-	-	28.4	19.8
	Sandy loam	5.1	4.1	3.0	5.8	17.5	6.7	4.5	8.5	4.2	24.7	7.0
	Loam	4.1	4.7	2.7	3.1	3.6	2.0	2.2	1.7	1.0	12.8	3.5
	Clay loam	-	-	2.4	-	-	1.3	-	-	-	-	2.0
Clay contents (%)	1~10	5.1	4.8	2.6	4.7	18.0	6.7	8.1	8.5	1.1	24.9	7.7
	10~20	5.8	4.9	2.0	3.6	4.4	2.0	1.3	1.7	2.4	21.9	4.2
	20~30	4.1	3.5	2.9	1.7	1.4	-	2.9	-	0.5	4.6	2.7
	Above30	-	3.3	2.1	1.1	-	0.3	2.6	-	1.9	1.2	2.1
Drainage class	Poorly	3.1	4.4	2.5	-	-	1.3	2.9	-	-	-	4.1
	Imperfectly	4.0	4.5	1.0	2.1	3.6	2.0	2.6	2.9	0.7	5.6	3.1
	Moderately well	5.6	4.5	4.2	4.2	9.1	3.8	5.9	0.9	1.3	20.3	5.3
	Well	5.5	4.8	2.8	4.5	20.4	3.6	-	14.3	4.0	34.0	10.4
	Somewhat excessively	-	4.9	5.0	-	30.6	-	-	-	-	24.9	14.4

ref) The denotation (-) means that the observed site is absent

의 영향을 많이 받으므로 주로 토양 내에서 관개수의 대류이동이 쉽게 일어나는 사양토나 양토 위에 설치되는 시설재배지에서의 퇴비 및 질소질 비료의 과용은 지하수 NO<sub>3</sub>-N 오염을 일으키기 매우 쉽다. 집약적 농업이 이뤄지는 네델란드의 사질토양에서 지하수 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량을 조사한 결과 370군데의 조사지점 중 77~85%가 European Communities의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 기준인 50 mg/ℓ (NO<sub>3</sub>-N: 11.3 mg/ℓ)을 초과하여서 사질토양에서의 지하수 NO<sub>3</sub>-N 오염 취약성을 나타내었다<sup>14)</sup>. 성주지역에서 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량이 토성과 관계없는 경향을 나타낸 것은 이 지역이 참외연작에 따른 장해를 막기 위해 주기적인 객토를 반복하여 토양내 질산태질소의 집적이 적었을 뿐 아니라 객토로 인하여 고유의 토성이 변하였기 때문이라고 생각되었다.

정밀토양도의 배수 등급에 따른 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량은

지역별로 약간의 차이가 있었으나 배수가 양호한 토양일수록 NO<sub>3</sub>-N 함량이 증가하였다.

**지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량과 재배 및 입지조건별 상관관계**

지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량과 재배년수, 퇴비시용량, 지하수깊이, 점토함량과의 상관관계를 표 7에 나타내었다. 시설재배지 NO<sub>3</sub>-N 함량과 상관관계가 높았던 인자는 시설재배지가 위치한 토양의 점토함량과 지하수의 깊이로서 NO<sub>3</sub>-N 함량과 고도의 부(負)의 상관이 있었고, 재배년수와 NO<sub>3</sub>-N 함량도 정(正)의 상관관계가 인정되었다. 그러나 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량은 여러 가지 인자들(토양, 재배년수, 지하수 깊이, 재배방법 등)의 종합적인 영향의 결과로 나타나므로 각 인자별 상관계수의 절대값은 높지 않은 편이었으며, 인자사이의 관계를 종합적으로 검토하기 위해서는 다변량적 해석이 필요할 것으로 생각

**Table 7. Correlation coefficients between NO<sub>3</sub>-N concentration in groundwater and farming practices under intensive cultivated greenhouse area**

Concerning factors	Years of cultivation	Amounts of manure application	Tube well depth	Clay content
Correlation coefficient	r=0.104*	r=0.047 <sup>ns</sup>	r=-0.228**	r=-0.241**

되었다.

퇴비시용량과 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량 사이에는 통계적인 유의성이 없었는데, 이는 퇴비시용량이 증가할수록 지하로 NO<sub>3</sub>-N 용탈량이 증가했다는 Silva 등, Powelson 등<sup>22,23)</sup>과는 다른 결과였다. 이는 Silva 등이 보고한 결과는 동일한 포장내에서 동일한 종류의 퇴비를 시용하였을 때의 NO<sub>3</sub>-N 용탈량을 조사한 바에 비해 본 시험은 다양한 토양, 퇴비종류 및 재배방법에서 조사가 이뤄졌기 때문이라고 생각된다. Di<sup>13)</sup> 등은 몇몇의 문헌을 서로 비교해 본 결과 퇴비 등과 같은 유기성 폐자원은 저장상태 및 유기성 폐자원의 재료에 따라 N 함량의 범위가 다양하기 때문에 유기물의 시용량과 N 용탈량 사이에 뚜렷한 관계를 발견할 수 없다고 보고하였다<sup>13)</sup>.

이와 같은 결과로 보아 영남지역 시설재배지 지하수의 NO<sub>3</sub>-N 함량 변화는 인위적인 요인보다는 지하수 깊이나 토성과 같은 자연적인 요인과 상관이 컸으며, 영농에 의한 인자 중에는 재배년수와 가장 관계가 깊다고 할 수 있다.

**토성별 지하수 깊이 및 재배년수에 따른 NO<sub>3</sub>-N 함량변화**

지하수 깊이별 NO<sub>3</sub>-N 평균함량을 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량과 관계가 깊은 것으로 밝혀진 토성별로 그림 5에 나타내었다. 깊이별로는 지하수 깊이가 깊을수록 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량이 감소하는 경향이었고, 토성별로는 관개수의 수직 이동이 쉽게 일어나는 사토에서 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량이 양토보다 많았으며, 조사한 바에 의하면 대부분의 지하수 채취지점에서 40 m 이후에는 불투수층이 나타났는데 이 깊이 이후에는 사토와 양토 간 뚜렷한 차이가 없었다.

예외적인 현상은 지하수의 깊이가 5~10 m인 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량이 깊이 1~5 m 이내의 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량보다 더 높았는데 이는 조사지역에서 깊이 1~5 m의 지하수의 대부분은 강과 인접한 곳에 위치하여 지하수와 수계가 연계되었기 때문에 토양에서 이동되어 내려온 NO<sub>3</sub>-N이 지하수와 연계되어 있는 강물에 희석되었기 때문이라고 생각된다. Rasiah<sup>24)</sup> 등은 오스트레일리아 퀸즈랜드의 Johnston강 수계에서 경작지의 NO<sub>3</sub>-N이 지하수로 부하되는 양과 지하수중 NO<sub>3</sub>-N이 수계로 빠져나가는 양을 조사한 결과, 경작지로부터 40~

110 kg/ha의 NO<sub>3</sub>-N이 지하수로 용탈되었고 이중 21~81 kg/ha이 지하수 수위가 낮아질 때 연계되어 있는 강으로 유출되었다고 보고하였다<sup>24)</sup>. 이와 같이 소수계에 인접한 충적층 지하수의 경우 상당한 양의 NO<sub>3</sub>-N가 유출되고 이렇게 지하수로부터 강물로 흘러나간 NO<sub>3</sub>-N은 수계 부영양화에 영향을 미치는 중요한 비점오염원(Non-points source pollution)의 하나로 작용하게 된다.

토성별로 재배년수에 따른 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량 변화를 살펴보면(그림 6) 양토에서는 재배년수 증가에 따른 지하수 NO<sub>3</sub>-N 증가가 완만한 반면, 사토에서는 변화의 기복이 심할 뿐 아니라 30년 이상 장기 재배하면 지하수 NO<sub>3</sub>-N 함량이 급속히 증가하였다. 이와 같은 경향을 볼 때 표 5에서 나타난 20년 이상 재배지의 NO<sub>3</sub>-N의 급격한 증가는 주로 30년 이상의 사질토양에서 일어났음을 알 수 있었다. 따라서 이러한 지역은 지하수 오염의 취약지이므로 피복작물 재배, 소비형 작물재배 유도 등의 관리가 필요하고, 지하수를 관개수원으로 사용할 경우 질소질 비료의 감비 및 가축분 퇴비와 같은 농후자재의 사용자제 등 질소원을 최소화함으로써 투입되는 질소의 balance를 맞추어야 질소 과잉장애를 회피하고 건전한 작물생육 및 지하수 오염악화를 완화시킬 수 있으리라 생각되었다.

**천층수와 심층수사이의 상관관계**

각 조사지점의 천층수 NO<sub>3</sub>-N 함량을 1 mg/ℓ 미만, 1~10 mg/ℓ, 10~20 mg/ℓ, 20 mg/ℓ 이상으로 비슷한 분포를 지닌 천층수끼리 하나의 지역으로 새로이 도식화하고 그 지역을 area라 할 때 아래의 분포는 area내 천층수와 심층수의 평균 NO<sub>3</sub>-N 함량을 나타낸 것이다.

그림 7의 암반수와 천층수의 NO<sub>3</sub>-N 분포를 보면 천층수와 암반수 NO<sub>3</sub>-N 함량 사이에는 고도의 정(正)의 상관(r = 0.532\*\*)이 인정되어 천층수의 NO<sub>3</sub>-N 함량이 높은 지역은 암반수의 NO<sub>3</sub>-N 함량도 높다는 사실을 알 수 있었다. 특히 area의 개수가 많았던 NO<sub>3</sub>-N 함량 1~10 mg/ℓ의 천층수 지역들에서 암반수 함량과 상관이 뚜렷이 나타났었다. Jerome 등<sup>25)</sup>도 농업지대에 위치한 Kervidy 수계에 있는 지

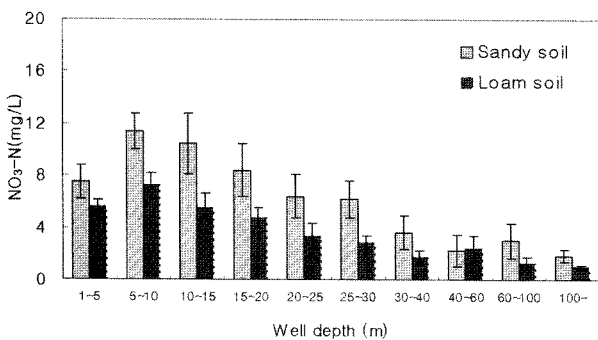


Fig. 5. Changes of NO<sub>3</sub>-N content in the groundwater between soil textures and well depth (average±S.E.).

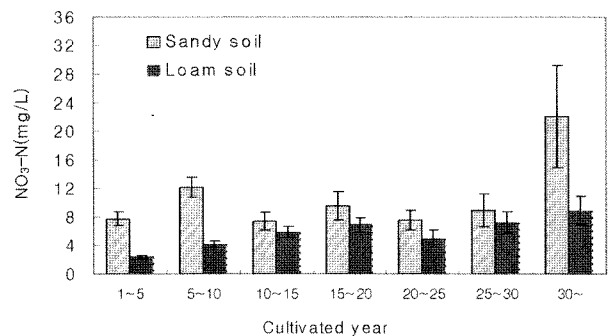


Fig. 6. Changes of NO<sub>3</sub>-N content in the groundwater between soil textures and cultivated years (average±S.E.).

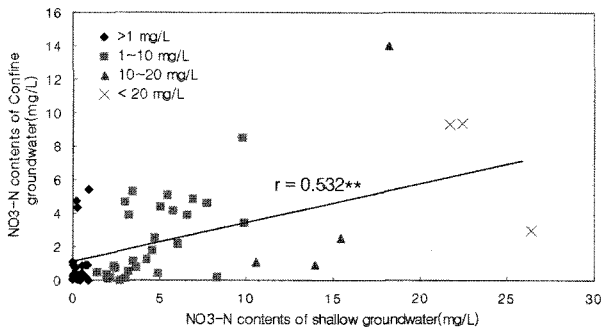


Fig. 7. Distribution of  $\text{NO}_3\text{-N}$  between shallow groundwater and confined groundwater.

하수와 소수계 지표수의 수질을 조사한 결과 피압대수층 아래에 있는 심층지하수의 화학적 조성이 천층지하수의 수질에 영향을 받았다는 사실을 관찰하여 본 조사와 동일한 결과를 보고하였다.

오랜 세월에 걸쳐 대수층의 수리지질적 특성에 의해 수질이 결정되는 암반수의 수질이 인위적인 활동에 영향을 받는 천층수의 수질과 관련이 있었던 것은 폐공의 방치, 차수가 불충분한 그라우팅 구간을 통과한 천층지하수층의 오염물질의 피압대수층으로의 침투 등 잘못된 지하수 관리가 원인이었을 수 있다. 따라서 퇴비, 비료 등의 농자재의 투입이 많고 연중 집약적인 재배가 이뤄지는 시설재배지에서는 농업이 환경에 미치는 부의 영향을 저감시키기 위해서는 사용하는 지하수의 적절한 관리가 더욱 요구된다.

## 요 약

농업활동 및 지하수의 입지적 조건이 시설재배지 지하수의  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량에 미치는 영향을 알아보기로 영남지역 10개 시군의 주요 시설재배단지에서 지하수 1370 지점의  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량을 조사하고, 재배조건으로서 시설재배지의 경작년수, 퇴비사용량, 제염방법 및 입지적 조건으로서 지하수깊이, 점토함량, 배수등급 등을 조사하였다.

조사된 지점 중 천층지하수의 19.7%, 암반지하수의 1.3%가 우리나라 음용수 수질기준인  $10 \text{ mg/l}$ 를 초과하였고, 농업용수 수질기준인  $20 \text{ mg/l}$ 를 초과하는 지점은 천층수 6.3%, 암반수 0.4%로 나타났다.

지하수  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량과 가장 상관이 높은 것은 점토함량 및 지하수깊이로 1% 수준에서 유의성이 인정되었다(점토함량  $r=-0.241^{**}$ , 지하수깊이  $r=-0.228^{**}$ ). 재배조건에 따라서는 경작년수와 5%수준에서 유의성이 인정되었으나(경작년수  $r=0.104^*$ ), 퇴비사용량 등과는 상관관계가 인정되지 않아 재배조건과 같은 농업활동보다는 토성과 깊이 등의 입지적 조건이 지하수  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량에 더 영향을 미치는 것으로 나타났다.

또한 천층수의  $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 암반수의  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량 사이의 상관관계를 조사한 결과 양자 사이에는 고도의 정(正)의 상관

( $r=0.532^{**}$ )이 인정되어 천층수의 수질이 암반수  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량에 영향을 미침을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- Magee, P. N. and Barnes, J. M. (1967) Carcinogenic nitroso compounds. *Advan. Cancer*. 10:163-246.
- Ministri of Construction and Transportation. (1995) Underground Water Acts.
- Baeg, C. O. Kang, S. G., and Lee, K. S. (1996) A status of agricultural water quality and improvable countermeasure in Korea. *Kor. J. Environ. Agric.* 15(4):506-519.
- Kreitler, C. W. and Jones D. C. (1975) Natural soil nitrate: The cause of the nitrate contamination of groundwater in rural county, *Texas Ground Water* 13:53-61.
- Pionke, H. B., Sharma, H. L., and Hirschberg, K. J. (1990) Impact of irrigated horticulture nitrate concentrations in groundwater. *Agri. Ecosyst. Environ.* 32, 119-132.
- Thorburn, P. J., Biggs, J. S., Weier, K. L., and Keating, B. A. (2002) Nitrate in groundwaters of intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 194:1-10.
- Jung, G. B., Lee, J. S., and Kim, B. Y. (1996) Survey on groundwater quality under plastic film house cultivation areas in southern part of Gyeonggi province. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 29(4):389-395.
- Jung, Y. S., Yang, J. E. Joo, Y. K., Lee, J. Y. Park, Y. S. Choi, M. H., and Choi, S. C. (1997) Water quality of streams and agricultural wells related to different agricultural practices in small catchments of Han river Basin. *Kor. J. Environ. Agric.* 16(2): 199-205.
- Kim, J. H., Lee, J. S., Kim, B. Y., Hong, S. G., and Ahn, S. K. (1999) Analysis of groundwater used for agriculture in Kyonggi province. *Kor. J. Environ. Agric.* 18(2):148-153.
- Yun, S. G. and Yoo, S. H. (1993) Behavior of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in soil and groundwater quality, *Kor. J. Environ. Agric.* 12(3):281-297.
- Harris, G.R., Henry, B.D., and Deyette, J.S. (1996) Nitrate levels in shallow groundwater of upstate New York. USA. *Environmentalist* 16:307-311.
- Walker, W. E. and Kroejer B. E. (1982) Nitrates in



- groundwater resulting from manure applications in irrigated croplands. EPA. 600/2-82-079. U.S. Environ. Protection Agency, Washington, D.C.
13. Di, H. J. and Cameron, K. C. (2002) Nitrate leaching in temperate agroecosystem : source, factors and mitigation strategies. *Nutrient cycling in agoecosystems* 46:237-256.
  14. Dico, F., Leo J. M. B., Gerard van D., Tjomme de H., and Wimm D. de H (1998) Nitrogen monitoring in groundwater in sandy regions of the Netherlands. *Environ. Pollution*. 102 S1:479-485.
  15. Strebel, O., Duynisveld, W. H. M., and Bottcher, J. (1989) Nitrate pollution of groundwater in western europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 26:189-214.
  16. Cultural practice of cucurbitaceae plant (1996) Rural development administration.
  17. Nielson, D. R., Biggar, J. W., and Wierenga, P. J. (1982). Nitrogen transport process in soil. *Am. Soc. Agron.*, 423-448.
  18. Han, K. W., Cho, J. Y., and Son, J. G. (1998) Losses of chemical components by infiltration water during the rice cultivation at silt loam paddy soil. *Kor. J. Environ. Agric.* 17(3):268-273.
  19. Staver K. W. and Brinsfield R. B. (1998) Using cereal grain winter cover crops to reduce groundwater nitrate contamination in the mid-atlantic coastal plain. *J. Soil Water Conserv.* 53:230-240.
  20. Steven, D. S. and Neilsen, G. H. (1990) Nitrogen additions and losses to drainage in orchard-type irrigation lysimeter. *Can. J. Soil Sci.* 70:11-19.
  21. Kolenbrander, G. J. (1981) Leaching of nitrogen in agriculture. In nitrogen losses and surface run-off. (ed. Brogan, J. C.) Nijhoff : 199-216.
  22. Silva, R. G. Cameron K. C., Di H. J., and Hendry T. (1999) A lysimeter study of impact of cow urine, dairy shed effluent and nitrogen fertilizer on drainage water quality. *Austr. J. Soil. Res.* 37: 357-369.
  23. Powlson D. S. Poulton P. R. Addiscott T. M., and McCann D. S. (1989) Leaching of nitrate from soils receiving organic or inorganic fertilizers continuously 135 years. In: Hansen J. A. A and Heriksen K (eds). Nitrogen in organic wastes applied to soils. Academic press, London, pp. 334-345.
  24. Rasiah, V., Armour, J. D. Yamamoto, T., Mahendrarajah, S., and Heiner, D. H. (2003) Nitrate dynamics shallow groundwater and the potential for transport to off-site water bodies. *Water, air, and soil pollution* 147:183-202.
  25. Jerome M., Patrick D., Chantal G. O, Philippe D., and Gerad G. (2002) Mechanism of nitrate transfer from soil to stream in an agricultural watershed of french rittany. *Water, air, and soil pollution* 133:161-183.