

## 제주도 한림지역의 지하수와 토양의 오염특성

현근탁<sup>1\*</sup> · 송상택<sup>1</sup> · 좌달희<sup>1</sup> · 고영환<sup>2</sup>

<sup>1</sup>제주특별자치도환경자원연구원 환경산업경영연구부, <sup>2</sup>제주대학교 식품생명공학과

### Characteristics of Groundwater and Soil Contamination in Hallim Area of Jeju Island

Geun-Tag Hyun<sup>1\*</sup> · Sang-Tak Song<sup>1</sup> · Dal-Hee Joa<sup>1</sup> · Yong-Hwan Ko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Environmental Industry & Management Research Department

<sup>2</sup>Department of food Science and Engineering Jeju national university

#### ABSTRACT

Contamination of groundwater from point and non-point sources is one of major problems of water resource management in Jeju island. This study characterized groundwater and soil contamination in Hallim area which is one of the areas of significantly contaminated soil and groundwater in Jeju Island. The amount of loaded contaminant (ALC) of Jeju area was estimated as 13,212 ton N/yr and 3,210 ton P/yr, The ALC of Hallim area was amounted to 2,895 ton N/yr and 1,102 ton P/yr, which accounted for 21.9% and 34.3% of the Jeju's ALC, respectively. The soil pH values (5.6-5.9) were not much different in land use areas. By contrast, average cation exchange capacity (CEC) of 14.1 cmol<sup>+</sup>/kg was high comparing to the nationwide range of 7.7-10.9 cmol<sup>+</sup>/kg. Further, Sodium adsorption ratios (SARs) of horse ranch, pasture, and cultivating land for livestock were as high as 0.19, 0.17, and 0.16 respectively, comparing to the other landuse areas. Nitrate nitrogen at 22.2% of total groundwater wells exceeded 10 mg/L (the criteria of nitrate nitrogen for drinking water), averagined 6.62 mg/L with maximum 28.95 mg/L. Groundwater types belonged to Mg-HCO<sub>3</sub>, Na-HCO<sub>3</sub>, Ca-HCO<sub>3</sub>, and Na-Cl, among which Mg-HCO<sub>3</sub> type occupied more than 70% of the total samples, indicating the presence of anthropogenic sources. The concentration of nitrate nitrogen was negatively related to altitude and well depth, and positively related to the concentration of Ca, Mg, and SO<sub>4</sub> which might originate from chemical fertilizer. The ratio of nitrogen isotopes was estimated as an average of 8.10‰, and the maximum value of 17.9‰. According to the nitrogen isotope ratio, the most important nitrogen source was assessed as chemical fertilizer (52.6%) followed by sewage (26.3%) and livestock manures (21.1%).

**Key words** : Amount of loaded contaminant (ALC), SAR (Sodium adsorption ratio), Cation exchange capacity (CEC), Nitrate nitrogen, Chemical fertilizer, Livestock manures

#### 1. 서 론

최근에 지하수·토양오염의 문제는 사람의 건강보호에 대한 영향이라는 측면 뿐만아니라 토지의 자산가치에 대한 영향과 공장부지 등의 유동화 저해 등 사회경제적인 문제의 하나로 크게 대두되고 있다. 또한 인간의 활동에 따라 육상생태계에 부하되는 질소는 약 100년 사이에 급격히 증가하고 있다.

지금까지 질소가 제한요인이 되었던 육상생태계에 있어서 인위적인 질소부하가 증가함에 따라 지하수의 질산오염과 하천의 부영양화를 일으키는 등 환경악화의 원인으로 되고 있다. 질소의 증가는 생태계내의 질소순환과 다른 원소의 움직임에 영향을 미쳐 생태계내의 화학적 성질을 변화시키고, 생산성과 생물상의 특성에도 영향을 미치고 있다(일본지하수학회, 2006). 그리고 질소부하와 그 영향에 대한 실태파악을 위해 다양한 조사와 연구가 실시되

\*Corresponding author : hgt8998@jeju.go.kr

원고접수일 : 2010. 1. 28 심사일 : 2010. 2. 17 게재승인일 : 2010. 6. 7

질의 및 토의 : 2010. 8. 31 까지

었다(과학기술부, 2003). 그와 동시에 생태계에 대한 물질 순환을 모델화하는 시도도 이루어지고 있다. 지금까지 개발된 모델은 상당히 다양하고 공간규모, 시간규모, 대상으로 하는 생태계(토양, 산림, 유역, 농지 등), 또는 모델화하고 있는 반응기구도 다양하다(허성구 외, 2008, 이철용 외, 2007). 일본의 경우 1980년경부터 산성강하물에 의한 토양과 육수의 산성화를 예측하기 위해 사와야마의 모델이 개발되어졌고 이들 모델에 대한 산림토양 등 자연생태계를 대상으로 움직임과 토양내 반응을 바탕으로 수소이온 및 기타 용존성분의 농도변화를 추정하려는 목적으로 개발하였다. 국내에서도 1999년 환경부 고시 “오염총량관리계획지침”의 기술지침에 따라 GIS를 이용한 소유역별 발생 및 배출 오폐수 부하량을 자동으로 산정하는 수질관리지원시스템이 개발되었다.

본 연구는 제주지역내에서 지하수 오염우려가 높은 양돈장과 우사 등 축산시설이 과밀하게 분포되어 있는 지역이면서 악취 등 민원이 자주 발생하는 곳인 제주시 한림읍지역을 대상으로 환경오염원에 대한 부하량, 지하수 및 토양 특성을 규명하기 위해 수행하였다.

## 2. 대상지역 및 방법

### 2.1. 연구대상지역

축산시설 등 환경오염원 비율이 상대적으로 높고, 지하

수 오염 등 민원사례가 많은 제주시 한림지역을 대상지역으로 선정하였다(Fig. 1).

이 지역은 제주특별자치도 총면적 1,848.4 km<sup>2</sup> 중 91.2 km<sup>2</sup>으로 4.9%를 차지하고 있는 지역으로 한라산을 중심으로 북서쪽인 애월과 한경면 중간에 위치하고 있으며, 해발 200 m 이하에서 경작되는 농산물은 대부분 양배추와 같은 야채류가 많으며, 200 m 위쪽은 목장 지역으로 양돈과 우사에 의한 소, 말 사육이 이루어지고 있다.

### 2.2. 연구방법

#### 2.2.1. 토양조사

토양시료는 한림지역 내 각 지목별로 90개 지점에 대해 시료채취하였으며(Fig. 1),

채취된 토양 생시료를 자갈 및 헝잡물을 제거한 후 혼합하여 2 mm 체를 통과시켜 분석시료로 하였다. 조사항목은 수소이온농도(pH), 총질소(T-N), 유효인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Ca, K, Mg, Na, 양이온치환용량(CEC), 나트륨흡착비(SAR)를 조사하였으며, 분석방법은 토양화학분석법(김동수 외, 1988)에 의하였다.

#### 2.2.2. 지하수 수질조사

지하수 수질조사 대상은 한림지역 31개 관정을 선택하였다(Fig. 1). 조사항목은 K, Na, Mg, Ca, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>3</sub>-N, Br을 조사하였으며 측정분석은 이

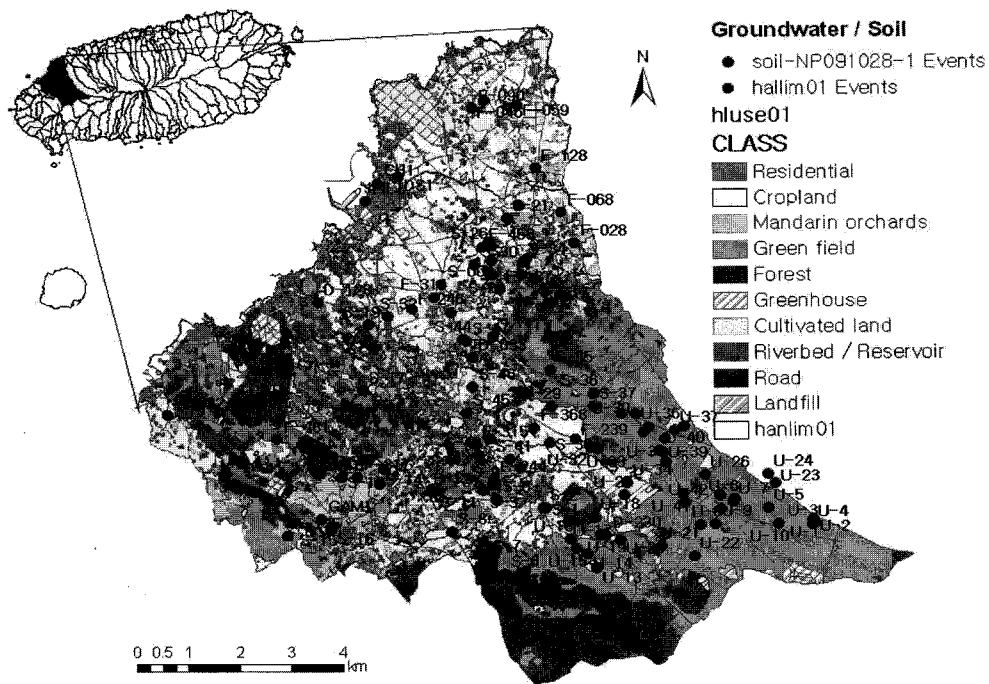


Fig. 1. Location of groundwater and soil samplings.

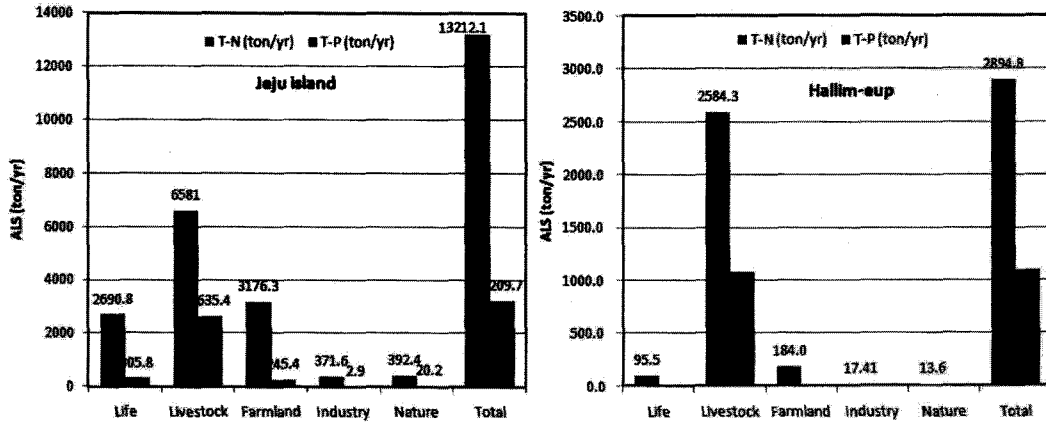


Fig. 2. The amount of loaded contaminant (ALC) of total nitrogen and phosphorus.

온크로마토그래피(인성 IC Model 2007)로 분석하였다. 또한 동위원소인  $\delta^{15}\text{-N}$ 는 시료중의 질산성질소를 Kjeldahl법에 의하여 데발다합금분말을 가하여 암모니아성 질소로 환원시켜 증류액을 포집한 후 그 증류액을 80°C 이하에서 1 mL로 농축시키고, 이 농축된 시료는 고진공 상태의 질소가스 정제장치에서 NaOBr과 반응시켜 질소가스를 생성시키고 정제한 다음 정밀동위원소비 측정용 질량분석계(Finnigan Delta-plus)를 이용하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 환경오염원

한림지역 내 환경오염원으로는 축산가공 공장 13개소 등 47개의 폐수배출시설, 도전체의 23.7%에 해당되는 7,111두의 소, 돼지는 45.2%인 192,280두가 사육되고 있고 이들 축사에서는 퇴·액비가 발생되어 농가에 환원되는 시설이 운영되고 있으며, 잘못 이용될시 타 지역보다 환경오염잠재성이 크다고 볼 수 있다.

그 외 쓰레기처리장이 1개소, 위생처리장 1개소, 유기질 비료제조시설 2개소, 건설폐기물처리시설 1개소, 가축분뇨 공공자원화시설 1개소, 가축분뇨공공처리시설 1개소가 있다.

#### 3.2. 질소·인 발생부하량

##### 3.2.1. 제주지역

제주지역 각 구조계별 질소 및 인발생부하량은 Fig. 2과 같으며, 질소발생부하량은 13,212 ton/yr이고, 인발생부하량은 3,210 ton/yr으로 산정되었다. 이것은 윤동민 등(2005)이 보고한 우리나라 총 유입 질소량 0.9%에 해당되는 것이다.

구조계별로 살펴보면 축산계 49.8%로 가장 높고, 농지

계 24.0%, 생활계 20.4% 순으로 나타났다. 따라서 제주 지역 전체적으로 볼 때 질소나 인의 발생부하량은 1차 산업인 축산계에서 절반정도 차지하고 있어 환경오염 잠재성이 크다고 볼 수 있다.

##### 3.2.2. 한림지역

한림지역에 각 구조계별 질소 및 인 발생부하량을 산정한 결과(Fig. 2) 질소가 2,895 ton/yr로 제주도 전체의 21.9%, 인은 1,102 ton/yr으로 34.3%를 차지하고 있다. 또한 구조계별은 축산계가 89.3%로 비중이 매우 높으며, 도전체적으로는 39.3%로 높게 나타나고 있다.

#### 3.3. 토양의 화학적 특성

조사지역내 토양의 용도지역별 토양 중의 화학적 특성은 Table 1과 같다.

수소이온농도(pH)는 5.6~5.9로 용도지역 간 차는 크지 않았으며, 우리나라 답의 유형별 토양산도가 특이산성과 염해를 제외한 지역이 5.4~6.0이라는 결과(농진청, 1989)와 유사하였다.

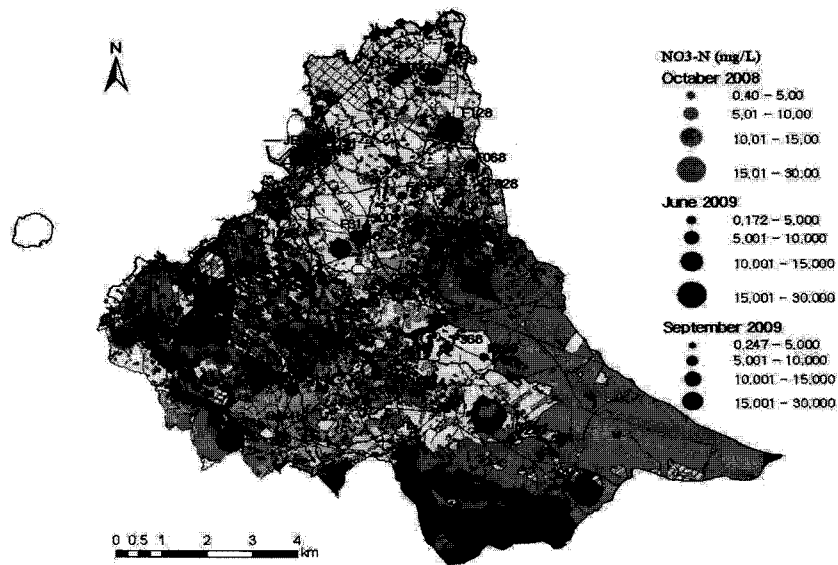
토양중 양분의 흡수, 보수력의 척도라고 할 수 있는 양이온치환용량(CEC)은 도내 평균 14.1 cmol<sup>+</sup>/kg으로 우리나라 토양 중 CEC가 7.7~10.9 cmol<sup>+</sup>/kg이라는 보고보다 다소 높았으나 화산회토에서는 13.4 cmol<sup>+</sup>/kg이라는 결과(농진청, 1989)와는 유사하였다.

유기물함량은 목장, 사료작물 및 야초지가 10.5~12.8%로 타 용도지역보다 높았으며, 육지부 토양 2.2~2.4%(농진청, 1989)에 비해 최대 5배 이상 유기물함량이 높은 것으로 조사되었다.

총질소는 평균 0.43%였으며 최대 1.00%까지 조사되었다. 이는 액비사용에 따라 T-N이 0.198%로 토양개선효과

**Table 1.** Chemical characteristics of soils

Item	pH	TC (%)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Cations Exch.(cmol <sup>+</sup> /kg)				CEC (cmol/kg)	SAR
					Ca	K	Mg	Na		
Mandarin orchards	5.6	6.7	0.31	603.5	5.50	0.69	0.89	0.21	12.5	0.12
Farm land	5.9	6.3	0.31	417.2	6.42	1.53	1.08	0.17	13.2	0.09
House ranch	5.6	9.7	0.44	23.0	2.51	0.85	0.83	0.27	11.9	0.19
Ranch	5.7	12.8	0.73	94.9	5.38	1.31	1.50	0.33	18.2	0.17
Feed crops	5.6	10.5	0.54	140.0	5.33	1.36	1.49	0.29	16.3	0.16
Forest	5.6	8.0	0.30	7.4	6.03	0.39	1.56	0.30	12.3	0.14
Glassland	5.6	10.8	0.58	43.7	4.35	1.07	1.12	0.26	13.6	0.15
Avr.	5.7	8.4	0.43	289.3	5.53	1.29	1.15	0.23	14.1	0.13



**Fig. 3.** Spatial distribution of nitrate concentration in groundwater.

가 있었다는 전병태 외(1995)의 결과 보다 높았다. 인산 염인은 평균 289.3 mg/kg으로 우리나라 농경지 토양중 유효인산함량이 101.0 ppm이라는 김동암 등(1991)의 보고나 농진청(1989)이 73~123 mg/kg이라는 보고 보다 약 3배 높게 함유된 것으로 조사되었으며, 감귤원과 농경지 토양에서 인산이 각각 603 mg/kg과 417.2 mg/kg으로 가장 높게 함유되고 있는 것으로 조사되었다.

이러한 결과는 인산질 비료의 주기적 살포와 제주 토양 특성이 인산 고정력이 높은 알로판으로 구성되어 있어 토양 중에 높게 축적된 때문으로 사료된다. 이에 비해 비료 살포가 거의 없는 산림, 말방목지나 야초지는 각각 7.4 mg/kg, 23.0 mg/kg 및 43.7 mg/kg으로 매우 낮은 농도를 보였다.

나트륨흡착비(SAR, sodium adsorption ratio)는 토양내 나트륨(Na<sup>+</sup>), 칼슘(Ca<sup>++</sup>)과 마그네슘(Mg<sup>++</sup>)과의 비율로 농

업용수 수질지표로 이용된다. 토양 중 염류가 집적되면 토양수 중 염류에 의하여 삼투압이 증가되어 물의 흡수를 저해하고 Na<sup>+</sup>염은 토양의 분산을 일으키게 하여 팽윤성도 커서 토양의 물리성을 나쁘게 하며, Ca<sup>++</sup> 등의 집적은 길항 작용에 의하여 타 양분의 흡수를 저해한다. Table 1에 의하면 SAR값은 말방목, 목장 및 사료작물재배지가 각각 0.19, 0.17 및 0.16으로 타 용도지역보다 높게 나타났으나 양분흡수에는 영향이 미치지 않은 미미한 수준으로 사료된다.

### 3.4. 지하수 수질특성

#### 3.4.1. 채수시기별 지하수 수질

한림지역내 31개 지하수관정에 대해 2008년 10월부터 2009년 9월까지 3차에 걸쳐 시료를 채수하여 질산성질소 농도에 대한 조사결과는 Fig. 3과 같다.

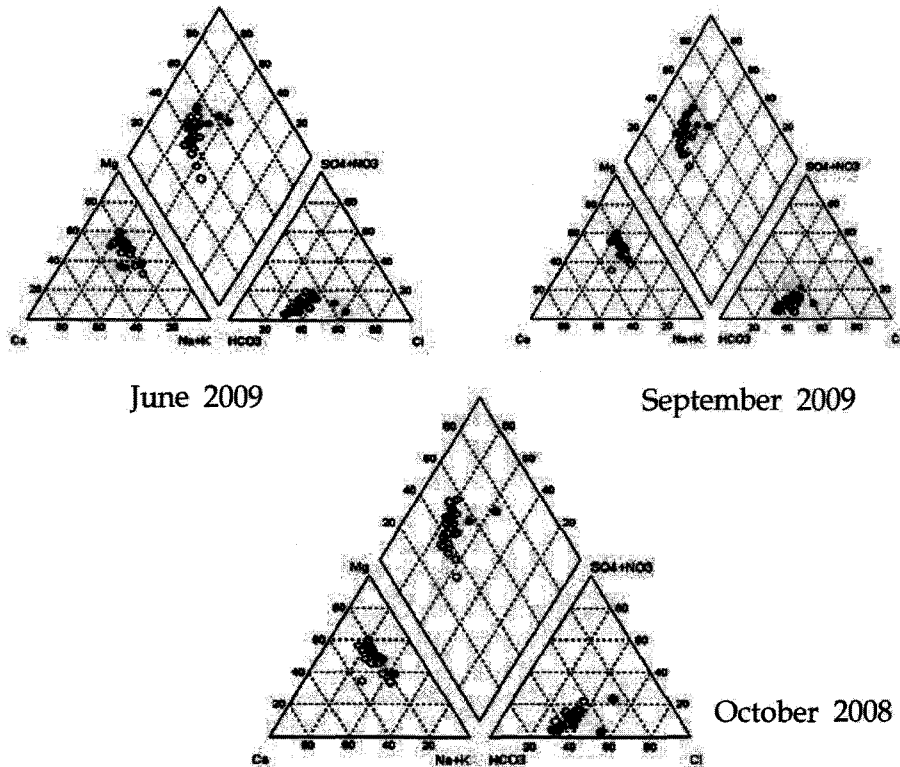


Fig. 4. Piper diagrams of water type in groundwater.

1차 조사의 질산성질소농도는 평균 6.87 mg/L였으며, W022에서 25.83 mg/L로 최대 농도를 보였고 먹는물기준 10 mg/L을 초과한 관정도 7개소로 조사되었다.

강우시기 전에 조사한 2차 조사시 질산성질소농도는 평균 6.33 mg/L, 최대농도는 F128에서 17.98 mg/L를 보였고 먹는물기준 초과관정은 5개소 였다.

강우후 수질안정화시기인 3차 조사시 질산성질소농도는 평균 7.03 mg/L, W022관정에서 28.95 mg/L로 최대농도를 보였고 먹는물기준 초과관정은 8개소 였다.

따라서 질산성질소농도 변화는 크지는 않았으나 강후 직후인 3차에 다소 높은 것으로 조사되어 강우에 의해 지표오염물질이 지하수에 다소 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다.

Fig. 4는 채수시기별 지하수유형을 Piper diagram 나타낸 것이다.

2008년 10월에 채수한 지하수인 경우 Na-HCO<sub>3</sub> 유형에 속하는 것은 F317, D128, GAM1, JEIL1, CH01, DS1, D280, F244, F458, F068이었고, Na-Cl 유형은 F315, 나머지는 Mg-HCO<sub>3</sub>유형으로 나타났다.

2009년 6월 강우직전에 채수한 지하수인 경우 Na-HCO<sub>3</sub> 유형으로 조사된 것은 F315, D128, GAM1, JEIL1,

D128, CH1, F135이었고, Ca-HCO<sub>3</sub>유형은 DS1, 나머지는 Mg-HCO<sub>3</sub>유형으로 나타났다.

지하수 수질의 안정화시기인 2009년 10월에 채수한 지하수인 경우 Na-HCO<sub>3</sub> 유형에 속하는 것은 F244, F315, F317, D128, GAM1, CS1이었고, Ca-HCO<sub>3</sub> 유형은 DS1, Na-Cl유형은 W022 나머지는 Mg-HCO<sub>3</sub>유형으로 나타나며, 정성욱 등(2003)이 조사한 결과와 일치하였다. 전형적인 제주 배경지하수의 유형은 Ca 또는 Na와 HCO<sub>3</sub>가 우세하며(송성준, 2002), 이와 비교해보면 한림내 대부분의 지하수가 Mg-HCO<sub>3</sub> 유형을 보이므로 점차 외부의 인위적인 또는 자연적인 오염이 가해지고 있다고 추정된다.

#### 3.4.2. 지하수관정 깊이별 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N) 분포

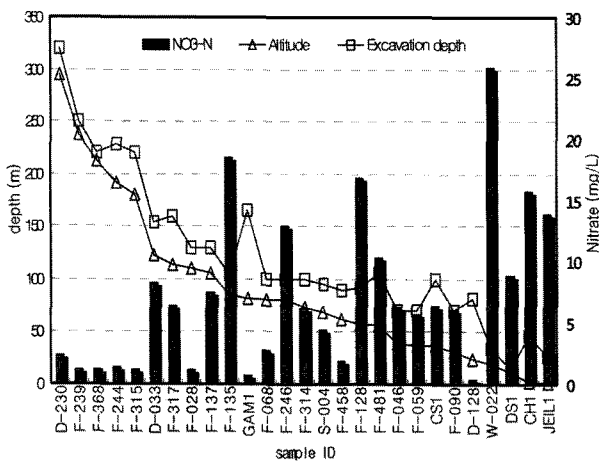
한림지역내 지하수관정의 굴착깊이에 따른 질산성질소의 변화를 알아보기 위해서 조사해 보았다(Fig. 5).

통계프로그램(SPSS 12.0.1, 2004)을 이용하여 질산성질소에 대한 표고와 굴착깊이간에 상관관계를 분석하여보았는데 표고 -0.490, 굴착깊이 -0.551로 역상관성을 보이고 있고 상관성은 0.01 이상의 높은 유의성으로 조사되었다. 이는 표고 200 m 이상의 금악지역의 지하수인 경우 질산성질소의 농도는 3.0 mg/L 이하로 현저히 낮게

**Table 2.** Correlation coefficients among NO<sub>3</sub>-N and ion species

	NO <sub>3</sub> -N	Na	K	Mg	Ca	F	Cl	SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	Br
Na	0.549**	1								
K	0.268*	0.681**	1							
Mg	0.858**	0.680**	0.478**	1						
Ca	0.667**	0.867**	0.716**	0.848**	1					
F	0.214*	0.479**	0.352**	0.245*	0.437**	1				
Cl	0.643**	0.948**	0.691**	0.766**	0.910**	0.461**	1			
SO <sub>4</sub>	0.773**	0.874*)	0.595**	0.841**	0.900**	0.429**	0.898**	1		
NH <sub>4</sub>	0.215*	0.100	0.194	0.258*	0.212*	0.296**	0.117	0.123	1	
Br	0.907*)	0.767**	0.052	0.913**	0.932**	0.842**	0.894**	0.926**	0.336	1

Sample n = 90, \* 0.05, \*\* 0.01



**Fig. 5.** Nitrate (NO<sub>3</sub>-N) variation of the groundwater depending on well depth.

조사되었고, 표고 100 m 근처에서는 질산성질소 10.0 mg/L 이상 초과되는 관정이 27개 시료중 7개 지점으로 나타났다.

3.4.3. 질산성질소와 이온성간 상관관계

지하수 중 각성분의 오염원인을 추정하는 방법으로 화학비료에 대한 오염여부 판단 시 상관매트릭스를 비교하여 적용한다(MOE, 2001).

Table 2은 질산성질소와 이온성분간 상관매트릭스를 나타낸 것으로 Ca과 Mg은 질산성질소와 고도의 유의성 (p < 0.01)을 가지고 있다. 또한 칼슘과 마그네슘은 질소비료의 주성분인 황산이온 간에도 p < 0.01 이상의 높은 상관성을 갖는다(SPSS 12.0.1, 2004). 이 지역에서는 질소비료와 더불어 토양의 산성화를 방지하기 위한 목적으로 칼슘, 마그네슘을 주성분으로 하는 고토석회가 다량으로 살포되어 있기 때문에 질산성질소와 칼슘, 마그네슘, 황산이온 등의 사이에 높은 상관성이 나타난다.

3.4.4. 질소안정동위소비 (δ<sup>15</sup> N) 분석

질소에는 <sup>14</sup>N과 <sup>15</sup>N의 2가지 안정동위체가 존재하고 대기 중에서의 존재비는 99.635%와 0.365%로 거의 일정하게 유지된다. 질소공급원의 종류에 따라 두 가지 안정동위체의 존재비가 거의 일정한 범위가 되려는 성질을 가지고 있기 때문에 이 성질을 이용하여 지하수의 질소 공급원을 추정할 수 있는 방법이다(MOE, 2001).

질소안정동위체비는 δ<sup>15</sup> N로 표현되어지고 δ<sup>15</sup> N치는 대상물질의 안정동위체비를 대기기준으로해서 천분율로 나타내는 것이고 다음 식에 따라 산출된다.

$$\delta^{15} N (\%) = \left\{ \left( \frac{R_{\text{시료}}}{R_{\text{대기}}} \right) - 1 \right\} \times 1000$$

$$R = {}^{15}\text{N} / {}^{14}\text{N}, R_{\text{대기}} : 3.663 \times 10^{-3} (= 0.365\% \div 99.635\%)$$

이 δ<sup>15</sup> N치는 강수 -8~2‰, 화학비료 -7.4~6.8‰, 가축분뇨 10~22‰, 하수처리수 8~15‰ 등 값으로 보고되고 있고(Heaton, 1986, Yoneyama et al., 1986, Yamamoto et al., 1995), 이것을 이용하여 지하수 오염원을 추정하고 있다.

지하수 중의 질산성질소의 기원을 찾기 위해 질산성질소 5.0 mg/L 이상 검출된 관정 19개소 수질을 질소안정동위체비(δ<sup>15</sup> N)를 분석한 결과는 Table 3에 나타내었다.

질소안정동위체비는 전체 평균치가 8.1‰이었고, 최대 17.9‰까지 조사되었으며, D280, F137, F314, F422 관정인 경우 질소안정동위체비가 12.33~14.93‰으로 가축분뇨의 오염으로 추정할 수 있으며, DS1는 17.9‰로 높지만 주변 지역이 주거지역으로 생활하수에 의한 영향으로 추정되었다. F481, F046, F059, F090은 6.16~7.92‰로 주변 농경지에 의한 화학비료의 오염으로 추정할 수 있으며, W022, JEIL1, D033은 7.82~8.76‰으로 생활하수에 의한 영향으로 추정된다.

**Table 3.** Predicted contribution of each source to NO<sub>3</sub>-N concentration using  $\delta^{15}\text{N}$  and NO<sub>3</sub>-N at each sampling site

Well ID	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Chemical fertilizers (%)	Livestock wastes and domestic sewages (%)	Natural soil (%)
D280	4.91	14.89	1.6	90.3	8.1
F422	5.11	12.33	12.2	80.0	7.8
F246	12.90	1.11	96.9	0.0	3.1
D033	8.22	7.97	47.7	47.5	4.9
F317	6.37	6.43	57.8	36.0	6.3
F137	7.43	14.72	3.6	91.0	5.4
F135	18.45	4.55	75.8	22.0	2.2
F314	6.15	14.93	1.0	92.5	6.5
S004	4.45	7.70	45.6	45.4	9.0
F453	6.90	5.06	68.5	25.7	5.8
F128	16.80	1.84	95.9	1.8	2.4
F481	10.29	7.92	49.0	47.1	3.9
F046	6.26	6.32	58.5	35.1	6.4
F059	5.71	6.16	59.1	33.9	7.0
F090	6.08	6.30	58.4	35.0	6.6
W022	25.83	8.76	45.0	53.4	1.5
DS1	8.82	17.90	1.8	93.6	4.5
CH1	15.72	-0.44	97.5	0.0	2.5
JEIL1	13.89	7.82	50.7	46.4	2.9

#### 4. 결 론

본 연구는 지하수 오염우려가 높은 제주시 한림읍지역을 대상으로 환경오염 부하량 산정 등을 통하여 지하수 및 토양의 오염 특성을 규명하였다.

제주지역의 질소발생부하량은 13,212 ton/yr이고, 인발생 부하량은 3,210 ton/yr으로 산정되었다. 이것은 2005년도 우리나라 총 유입 질소량 1,442,254 ton/yr의 0.9%에 해당되는 것이다. 한림지역의 질소와 인발생부하량은 각각 제주지역의 21.9% 및 34.3%로 조사되었다. 토양의 pH는 5.6~5.9로 용도지역 간 차는 크지 않았으며, 양이온치환용량(CEC)은 평균 14.1 cmol<sup>+</sup>/kg으로 우리나라 토양 중 CEC 7.7~10.9 cmol<sup>+</sup>/kg보다 다소 높았다. 나트륨흡착비(SAR)는 말밭목, 목장 및 사료작물재배지가 각각 0.19, 0.17 및 0.16으로 타 용도지역보다 높게 나타났다. 지하수 내 질산성질소의 먹는물 기준(10.0 mg/L) 초과비율은 22.2%이며, 평균 6.62 mg/L, 최대 28.95 mg/L로 나타났다. 채수시기별로는 강우직후 조사가 다소 높았다. 지하수수질유형은 Mg-HCO<sub>3</sub> > Na-HCO<sub>3</sub> > Ca-HCO<sub>3</sub> > NaCl 순으로 나타났으며, Mg-HCO<sub>3</sub> 형태가 70% 이상으로서 인위적인 오염이 진행되고 있다. 질산성질소와 표고 및 굴착 깊이 간에 고도의 유의성이 있으며(p < 0.01), 질산성질

소와 Ca, Mg, SO<sub>4</sub>간에 상관성이 높았다. 질산성질소 오염기원을 분석 결과 화학비료 52.6% > 생활하수 26.3% > 가축분뇨 21.1% 순으로 조사되었다.

따라서 지하수의 질산성질소 오염을 방지하기 위해서는 농경지의 적절한 화학비료 사용과 가축분뇨의 적절한 관리대책을 세우고 지속적인 지역주민 계몽이 필요하다.

#### 참고문헌

- 과학기술부, 2003, 지하수 오염판별을 위한 동위원소 fingerprinting 기술개발, 제주대학교 최종연구보고서, p. 26.
- 김동수, 1988, 토양화학분석법, 삼미인쇄사, 농업기술연구소, p. 450.
- 김동암, 1991, 초지학총론, 선진문화사, p. 460.
- 농촌진흥청, 1989, 농토배양보고서, p. 395-410
- 송성준, 2002, 제주도지하수와 용천수의 오염기원조사 및 판별 기법개발, 제주지역환경기술개발센터 최종보고서
- 윤동민, 박신형, 박재우, 2008, 2005년 대한민국 질소유입 및 유출수지, 대한환경공학회지, 13(1), 97-105
- 이철용, 김계현, 이혁, 2007, GIS 기반의 자동화된 오염물질 배출 부하의 산정과 분석, 대한환경공학회지, 29(8), 870-875
- 이용두, 2006, 제주지역에서 배출되는 비점오염원 관리방안연구,

제주지역환경기술개발센터 최종보고서.

전병태, 이상무, 김재영, 오인환, 1995, 액상구비사용이 사료작물의 생산성과 토양성분에 미치는 영향, *한초지*, **15**(1), 52-60.

정성욱, 현승규, 송용학, 이광식, 2003, 제주한림지역 지하수수질 및 질산성질소의 공간적분포, 한국지하수토양학회 춘계학술대회, 한국지하수토양환경학회, 경원대학교, p. 442-446.

제주특별자치도, 2007, 제주통계연보.

허성구, 김남원, 박윤식, 2008, SWAT Arcview GIS extension patch를 이용한 소유역 분할에 따른 수문 및 유사거동에 미치는 영향평가, *Journal of Korea Society on Water Quality*, **24**(2), 147-155.

Heaton T.H.F., 1986, Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere, A review, *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, **59**, 87-102.

MOE, 2001, Survey manual nitrite and nitrate nitrogen in groundwater pollution, p. 25.

Sadao, Y., Shigeto, O., Yumi, K., and Yukitake, F., 2003, The chemical characteristics of water Quality such as nitrate nitrogen (NO<sub>3</sub>-N) an the Insular areas treated with fertilizers in Ehime Prefecture, *Ehime Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science*, **6**, 39-45.

Yoneyama, T., Nakano, H., and Kuwahara, M., 1986, Natural <sup>15</sup>N abundance of field grown soybean grains harvested in various location in Japan and estimate of the fractional contribution of nitrogen fixation, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **32**, 443-449.

Yamamoto, Y., Kwabg-lai, Pak, and Nakanishi, Y., 1995, Nitrate concentrations and  $\delta^{15}N$  values of groundwater in the Miyakojima Island, *Japanese Society of Soil Sci. and Plant Nutrition*, **66**(1), 18-26.