

## Survey on Geochemical Characteristics of Groundwater Around Carcass Burial Area and Agricultural Area with Livestock Facilities

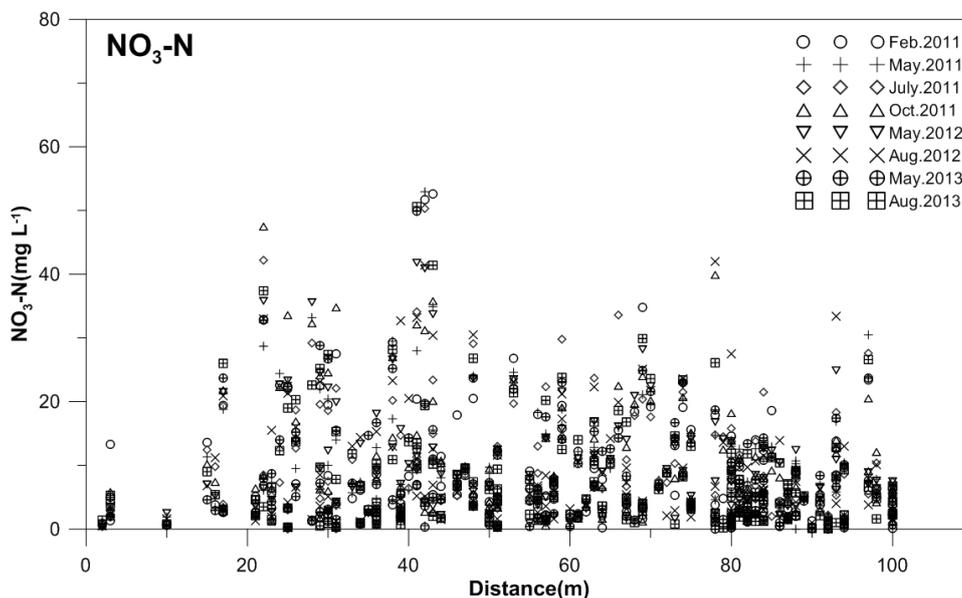
Sunhwa Park, Hyun-Gu Kim, Min-Kyeong Lee, Gyeong-Mi Lee, Moon-Su Kim,  
Oh-Sang Kwon, and Taeseung Kim\*

National Institute of Environmental Research

(Received: October 28 2014, Revised: December 19 2014, Accepted: December 19 2014)

In this study, chemical characteristics of groundwater around carcass burial areas and those in agricultural and livestock-farming complex areas in South Korea were monitored. Groundwater samples were collected from 166 wells around carcass burial sites and 466 wells around the agricultural areas where carcass burial sites are absent. The chemical parameters (pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, oxidation reduction potential,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , and  $\text{Cl}^-$ ) in carcass burial areas and agricultural areas were similar. The  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentrations exhibited minimal seasonal fluctuations below  $30 \text{ mg L}^{-1}$  in most of the wells, even in the wells located close to the carcass burial sites; and  $\text{Cl}^-$  concentrations also showed similar patterns. The chemical characteristics of groundwater monitored in this study indicated that groundwater was widely contaminated by agricultural activities and livestock farming, but probably not by leachates derived from nearby carcass burial sites.

**Key words:** Carcass burial area, Agricultural area with livestock facilities, Groundwater contamination,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{Cl}^-$



Variation of  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentrations in groundwater wells depending on the distance from the carcass burial areas.

\*Corresponding author : Phone: +82325608360, Fax: +82325694102, E-mail: tskim99@korea.kr

§Acknowledgement: This work was supported by the research grant of NIER (2011~2013).

## Introduction

가축전염병인 구제역 (Foot and mouth disease)은 가축 전염병 예방법상 제1종 가축전염병이며, 국제수역사무국에서 관리대상 질병으로 분류한 질병이다. 2000년 이후 국내 구제역 발생현황을 살펴보면 2000년, 2002년, 2010년에 각각 발생하였다. 특히 2010년 11월부터 2011년 4월까지 구제역은 전국적으로 발병 및 확산되었으며 구제역에 감염되었거나 감염 우려가 있는 가축들을 살처분하여 조성된 매몰지가 전국 70여개 시, 군, 구에 총 4,799개소 매몰지이며 매몰된 가축수는 약 340만두이다. 2010~2011년 발생한 구제역은 국내에서 유래가 없을 정도로 단기간에 대규모 가축 살처분 및 매립으로 일부 부실한 가축매몰지의 침출수 유출과 더불어 토양, 지하수 오염문제가 제기되어 왔다. 긴급하게 조성된 가축매몰지 대부분이 가축전염병이 발생한 축사에 인접한 장소로 대부분 농축산지역이다. 상수도 미보급 농축산지역은 축사 및 농가의 지하수 의존도가 높아 농업용수, 생활용수뿐만 아니라 음용수로 상당히 활용되고 있는 실정이다. 이들 지역의 지하수 이용관정은 대부분 충적층과 풍화암반대 지하수로 지표수 함양 등에 의해 지하수 재충진이 잘 이루어지나 동시에 수질오염에도 민감하다 (Jeon et al., 2011; Kim and Woo, 2003). 가축매몰지에서 유출된 침출수에 의해 주변지역 지하수 환경에 상대적으로 높은 생물학적 산소요구량 (Biochemical oxygen demand; BOD), 질산성질소 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 암모니아성질소 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), 그리고 염소이온 ( $\text{Cl}^-$ ) 이 관측되는 것으로 조사되었다 (Choi et al., 2013; Glanville, 2000; Kang and An, 2013; Kim and Woo, 2003).

정부에서는 구제역 긴급행동지침 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2011), 가축매몰지역 환경조사지침 (Ministry of Environment, 2013)을 수립하여 가축매몰지의 환경안전관리를 위해 힘쓰고 있다. 가축매몰지역 환경조사지침에 의하면 매몰지 주변 300 m 이내 지하수 이용관정에 대해 매몰일로부터 3년간 (필요시 2년 이상 연장) 분기별 또는 반기별 1회씩  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 총대장균군 4개 항목을 조사하며  $\text{Cl}^-$ 과  $\text{NH}_4\text{-N}$ 가 동반검출되는 경우 월별 조사를 실시하도록 규정되어 있다.

지하수 의존도가 높은 농촌지역의 지하수 이용관정은 대부분 충적층 및 풍화암반대 지하수를 대상으로 개발되어 외부 오염원에 의한 영향을 크게 받는다. 일반적인 농촌지역의 지하수 수질특성과 관련된 연구결과, 특히 질산성질소의 먹는물 기준인  $10 \text{ mg L}^{-1}$ 를 초과한 경우가 조사관정의 약 50%로 질소화합물에 의한 오염이 상당한 것으로 밝혀졌다 (Jeon and An, 2011; Kim et al., 2002; Kim and Woo, 2003). 가축매몰지의 침출수 유출여부를 판단하기 위하여 대부분의 매몰지가 위치한 농축산지역의 침출수 유출 주요 평가 인자인  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{Cl}^-$ 에 대한 지하수 배경농도

자료가 필요하다.

본 연구에서는 전국적으로 위치한 가축매몰지 주변 지하수 이용관정의 지하수 수질특성과 가축매몰지가 없는 농축산지역의 지하수 관정의 지하수 수질을 조사하여 가축매몰지 및 농촌지하수의 수질특성을 분석하고자 한다.

## Materials and Methods

**조사 대상 지하수 관정** 가축매몰지 침출수 유출에 의한 주변지역 지하수 영향여부를 검토하기 위하여 가축매몰지 주변 지하수 이용관정과 가축매몰지가 없는 농축산지역의 지하수 이용관정을 대상으로 조사하였다. 농촌지역의 지하수 이용관정의 경우 대부분 미신고 관정으로 심도 등 정확한 관정제원 자료가 없으나 청취조사 결과 대략적 관정심도가 15~30 m인 것으로 조사되었다.

전국적으로 분포하고 있는 가축매몰지 침출수의 영향 우려가 클 것으로 추정되는 가축매몰지 주변 지하수 이용관정 166개소에 대해 2011년 분기별, 2012년, 2013년 반기별 총 8회에 걸쳐  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{Cl}^-$ , 총대장균 4개 항목에 대한 지하수 수질분석을 실시하였다. 가축매몰지 주변 지하수 수질과 비교 검토를 위하여 가축매몰지가 없는 농축산 (축사시설 존재) 지역의 지하수 이용 관정 426개소를 대상으로 2012년 및 2013년 상반기, 하반기 총 4회  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,

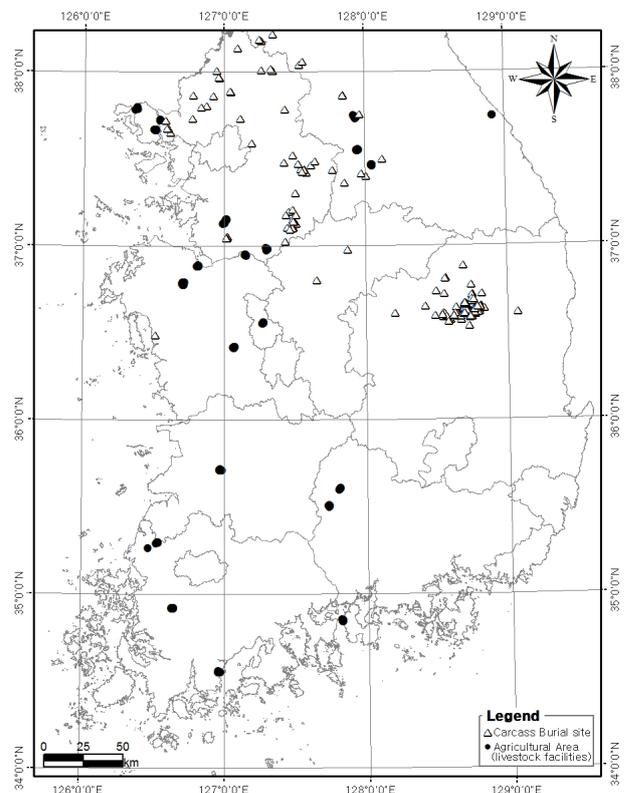


Fig. 1. Distribution of the investigated sites used as carcass burial areas and agricultural areas having livestock facilities.

**Table 1. pH, electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO) and oxidation-reduction potential (ORP) of groundwater from carcass burial areas measured on site.**

		pH	EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	DO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	ORP (mV)
Feb. 2011 (n=166)	Maximum	8.37	876.00	11.30	756.00
	Minimum	4.57	45.00	0.01	-68.00
	Average	6.74	283.15	5.39	201.58
	Median	6.71	258.85	5.67	194.85
May. 2011 (n=166)	Maximum	8.62	760.00	12.14	397.00
	Minimum	4.74	31.60	0.02	-54.80
	Average	6.86	281.78	5.63	200.07
	Median	6.90	261.10	5.76	212.05
July. 2011 (n=166)	Maximum	8.62	883.00	12.30	489.00
	Minimum	5.52	14.90	0.05	-220.00
	Average	6.84	290.37	5.20	151.65
	Median	6.80	273.35	5.31	184.25
Oct. 2011 (n=166)	Maximum	9.31	938.00	12.70	491.90
	Minimum	5.04	36.00	0.13	-130.10
	Average	6.90	261.47	5.70	195.62
	Median	6.79	231.20	5.53	189.75
May. 2012 (n=166)	Maximum	8.42	788.00	11.20	792.30
	Minimum	5.78	58.10	0.07	-80.60
	Average	6.79	298.08	4.87	216.07
	Median	6.70	272.00	4.81	180.00
Aug. 2012 (n=166)	Maximum	8.35	1135.00	9.20	778.20
	Minimum	5.56	41.00	2.00	37.60
	Average	6.78	247.49	5.33	204.01
	Median	6.74	196.70	5.20	204.10
May. 2013 (n=166)	Maximum	8.16	806.00	11.00	610.00
	Minimum	5.93	4.10	1.22	-28.80
	Average	6.76	254.81	6.86	207.97
	Median	6.70	214.30	6.91	240.50
Aug. 2013 (n=166)	Maximum	9.26	810.00	11.00	612.00
	Minimum	5.90	55.90	1.25	-12.20
	Average	6.89	258.72	5.52	169.00
	Median	6.85	219.00	5.60	190.50

$\text{Cl}^-$ , 총대장균군을 포함한 13개 항목에 대해 수질조사를 실시하였다. 조사대상 지역인 가축매몰지 지역과 매몰지가 없는 농축산 지역의 전국적인 분포현황은 Fig. 1과 같다.

**시료채취 및 수질분석** 조사대상 지하수 이용관정을 대상으로 지하수 시료 채취시 수온, pH, 전기전도도 (Electrical Conductivity, EC), 산화환원전위 (Oxidation Reduction Potential, ORP), 용존산소농도 (Dissolved Oxygen, DO)의 현장 수질 측정값이 안정화 될 때까지 퍼징 후 시료를 채취하였다. 현

**Table 2. pH, EC, DO and ORP of groundwater from livestock areas measured on site.**

		pH	EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	DO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	ORP (mV)
June. 2012 (n=426)	Maximum	8.04	1,011.00	11.03	548.00
	Minimum	5.44	12.00	1.50	-24.00
	Average	6.31	270.96	6.61	258.65
	Median	6.23	259.00	6.64	261.00
Sept. 2012 (n=422)	Maximum	9.87	759.00	9.57	503.40
	Minimum	4.47	60.70	1.62	116.00
	Average	6.47	290.81	6.35	256.05
	Median	6.38	273.00	6.34	252.00
July. 2013 (n=426)	Maximum	7.70	482.00	9.10	318.00
	Minimum	5.54	9.30	2.70	21.00
	Average	6.51	132.77	6.20	193.06
	Median	6.49	128.80	6.20	194.00
Sept. 2013 (n=426)	Maximum	9.69	455.00	9.60	253.00
	Minimum	5.19	33.10	3.70	157.00
	Average	6.31	147.51	6.48	206.87
	Median	6.24	141.45	6.50	203.00

장수질측정 값의 안정화는 미국지질조사소 (USGS, 2010)에서 제시된 기준을 참고로 하였다. 시료채취 과정에서 교란이나 기포가 발생하지 않도록 양수량을 조절하였으며, 대기 접촉으로 인한 시료의 변질을 방지하기 위해 채수병 상부 (Headspace)에 빈공간이 발생하지 않도록 주의하여 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 분석항목에 따라 여과 ( $0.45 \mu\text{m}$ ) 및 질산 처리를 실시하였다. 시료의 운반 및 보관은 냉장상태( $0\sim 4^\circ\text{C}$ )로 유지하여 변질을 방지하였다.

지하수 시료채취 전, 지하수의 pH, DO, ORP, EC 그리고 수온을 휴대용 측정장비를 활용하여 현장수질을 측정하였으며 측정값이 안정된 후 시료채취를 수행하였다. 현장수질 측정값을 Table 1, Table 2에 정리하였다.

가축매몰지에서 가축 사체가 분해되면서 발생된 침출수가 주변 지하수계로 누출될 경우 BOD,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , 총용존 고형물 (TDS) 그리고  $\text{Cl}^-$  항목이 높게 나타나는 것으로 알려져 있다 (Glanville, 2000). 지하수 수질 분석항목 중 가축매몰지 침출수의 영향 가능성을 지시하는 물질로 알려진  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{Cl}^-$  항목에 대해 분석하였다. 수질분석은 이온크로마토그래피와 자외선/가시광선 분광법으로 분석하였다.

## Results and Discussion

**지하수 현장측정 수질 특성** 가축매몰지 주변 지하수 이용관정의 2011년부터 2013년 조사시기별 평균 pH는 6.74~6.90 범위이며, 농축산지역 지하수 이용관정의 조사시기별 평균 pH는 6.31~6.54 범위로 조사되었다. 가축매몰지 및 농축산

지역의 조사시기별 지하수의 pH는 큰 변화없이 약산성으로 나타난다.

EC는 가축매몰지 주변지역의 경우 조사시기별 평균값이 247.5~298.1  $\mu\text{S cm}^{-1}$  범위이며, 농축산지역의 경우 조사시기별 평균값이 132.8~290.8  $\mu\text{S cm}^{-1}$  범위로 조사되었다. 가축매몰지로부터 침출수가 유출되었다면  $\text{NO}_3\text{-N}$  및  $\text{NH}_4\text{-N}$  등의 증가로 지하수 내 EC값이 크게 증가할 수 있다. 조사결과 가축매몰지 주변지역과 농축산지역지하수의 평균 EC값이 유사하게 나타나며 시기별 변화가 크게 나타나지 않았다.

가축매몰지 주변지역의 지하수 용존산소농도는 조사시기별 평균값이 4.87~6.87  $\text{mg L}^{-1}$  범위이며, 농축산지역의 경우 조사시기별 평균값이 6.20~6.61  $\text{mg L}^{-1}$  범위로 조사되었다. 산화환원전위는 가축매몰지 주변지역 및 농축산지역의 조사시기별 평균값이 각각 151.6~216.1 mV, 193.1~258.6 mV로 조사되었다. 가축매몰지로부터 침출수가 발생하여 유기오염물질이 주변 지하수계로 유출되면 미생물의 활발한

분해반응으로 인하여 산화환경에서 환원환경으로 변하게 된다. 용존산소농도 < 2  $\text{mg L}^{-1}$ , 산화환원전위 < 200 mV이면 환원환경이라고 알려져 있다 (Cey et al., 1999). 일부 조사관정에서 환원환경을 나타내고 있지만 조사관정 대부분이 산화환경을 나타내고 있다.

이와 같이 현장수질측정 항목인 pH, EC, DO, ORP 검토결과, 가축매몰지 주변지역과 농축산지역 지하수에서 특이한 차이점은 없어 가축매몰지 침출수에 의한 영향여부를 판단하기는 어렵다.

**실험실 분석 지하수 수질특성: 질산성질소 농도** 질산성질소는 염소이온 및 암모니아성질소와 더불어 가축매몰지 침출수 영향 가능성을 지시하는 대표물질로 알려져 있다. 가축매몰지 주변 지하수 이용관정의 질산성질소 시기별 평균농도는 7.58~8.93  $\text{mg L}^{-1}$  범위로 나타나며, 농축산지역 이용관정의 질산성질소 시기별 평균농도는 8.91~10.00

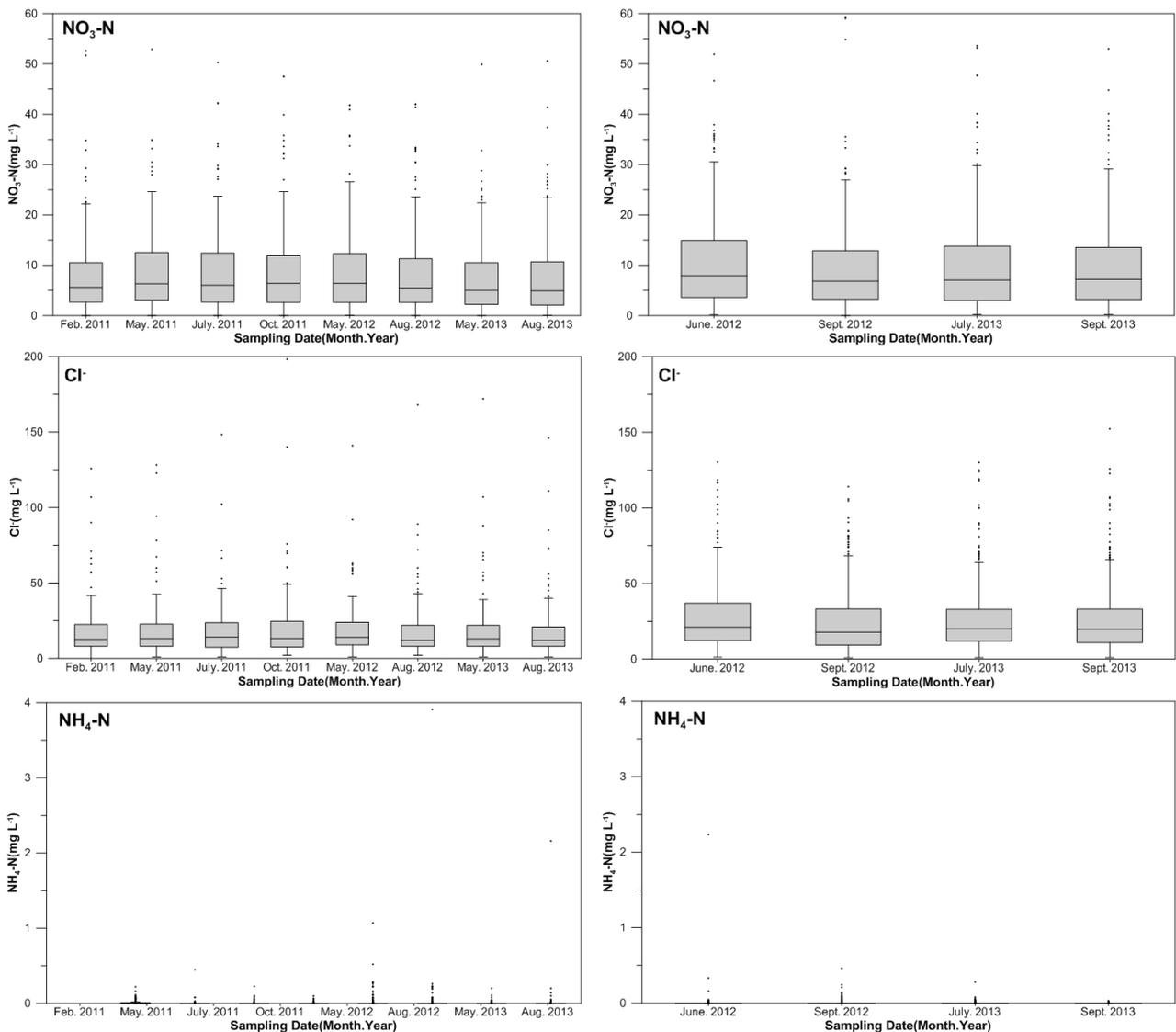


Fig. 2. Box plot of  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations of groundwater from carcass burial areas and livestock areas.

mg L<sup>-1</sup>로 가축매몰지 주변 이용관정에 비해 다소 높게 나타났다 (Fig. 2). 가축매몰지 침출수에 의한 영향이 있을 경우 매몰지에 근접한 이용관정에서 질산성질소 및 염소이온의 농도가 높게 검출될 것으로 예상되었으나 이격거리와 농도의 상관성은 보이지 않았다. 이와같이 질산성질소 농도가 매몰지 이격거리와 상관성이 보이지 않으며 기존 농축산지역의 지하수 수질 연구결과들과 같이 질산성질소 농도가 높게 나타나는 현상은 대부분 축산분뇨, 비료살포 등 관정 주변의 다른 오염원의 영향인 것으로 판단된다.

**실험실 분석 지하수 수질특성: 염소이온 농도** 가축매몰지 침출수의 영향 여부 대표적인 지시인자로 알려진 염소이온의 경우 모두 지하수 생활용수 기준 (250 mg L<sup>-1</sup>) 이하로 조사되었다. 가축매몰지 주변관정의 경우 시기별 평균 농도가 17.61~19.48 mg L<sup>-1</sup> 범위로 나타나며, 농축산지역 이용관정은 시기별 평균농도가 24.68~27.82 mg L<sup>-1</sup>로 가축매몰지 주변 이용관정에 비해 다소 높게 나타났다.

가축매몰지 및 농축산지역 이용관정의 조사시기 및 계절적 영향에 의한 염소이온의 농도변화가 미미하게 나타나며, 가축매몰지 주변 이용관정의 경우 이격거리와 상관성을 보이지 않았다.

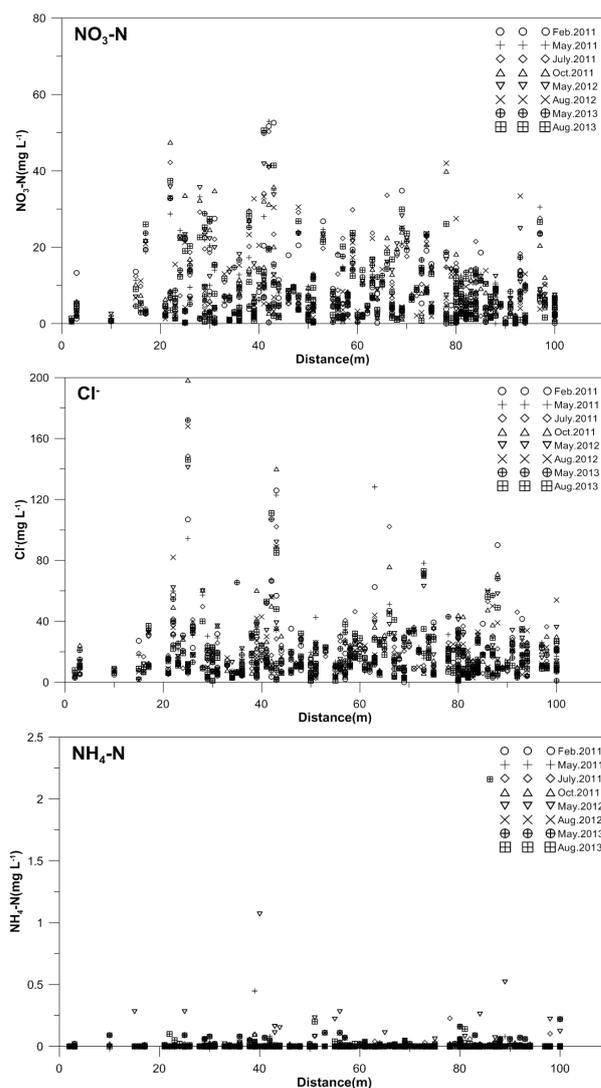
**실험실 분석 지하수 수질특성: 암모니아성질소 농도** 가축매몰지 침출수 영향을 나타내는 대표적인 지시인자의 하나로 알려진 암모니아성질소의 경우, 대부분의 조사관정에서 검출한계 (0.01 mg L<sup>-1</sup>) 이하의 농도를 보이는 것으로 나타났다. 고농도로 검출되는 조사관정에서 암모니아성질소가 지속적으로 검출되지 않으며, 가축매몰지와 조사관정의 이격거리의 상관성도 뚜렷이 나타나지 않는다.

**가축매몰지로부터의 이격거리에 따른 오염물질 농도 분포 분석** 가축매몰지 침출수 영향여부를 판단하는 주요 인자인 NO<sub>3</sub>-N, Cl<sup>-</sup> 및 NH<sub>4</sub>-N를 가축매몰지 주변관정의 이격거리에 따라 농도 분포 양상을 검토하였다.

NO<sub>3</sub>-N의 경우 이격거리에 따른 농도분포 양상이 불규칙하며 조사시기별로 차이가 있으나 이격거리가 약 40 m 이상 떨어진 조사관정에서 질산성질소 농도가 인접 조사관정보다 비교적 높게 나타났다. Cl<sup>-</sup>도 NO<sub>3</sub>-N와 유사하게 매몰지 인접관정보다 20 m 이상 이격된 관정에서 상대적으로 농도가 높게 나타났다. NH<sub>4</sub>-N의 경우, 대부분 관정에서 매우 낮은 농도 분포를 보였다. 2012년 8월, 2013년 8월에 NH<sub>4</sub>-N가 각각 3.91, 2.16 mg L<sup>-1</sup>로 검출된 조사관정은 동일 관정으로 매몰지와 이격거리가 약 80 m 이상이며 각 조사시기별 NH<sub>4</sub>-N가 상대적으로 고농도로 검출된 조사관정의 경우 대부분 매몰지와 이격거리가 약 40~100 m로 조사되었다 (Table 3, Fig. 3).

**Table 3.** NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N and Cl<sup>-</sup> concentrations of groundwater from the carcass burial sites depending on the distance from the sites.

		Distance (m)		
		0~29	30~59	60~100
NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	Maximum	47.50	52.93	42.00
	Minimum	0.00	0.00	0.00
	Average	9.66	9.62	7.23
	Median	5.20	6.66	5.40
NH <sub>4</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	Maximum	0.28	1.07	3.91
	Minimum	0.00	0.00	0.00
	Average	0.01	0.01	0.02
Cl <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	Maximum	198.20	140.05	128.20
	Minimum	2.00	1.00	0.00
	Average	23.19	17.28	17.79
	Median	12.35	12.35	14.00



**Fig. 3.** Variation of NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N and Cl<sup>-</sup> concentrations depending on the distance from the carcass burial areas.

가축매몰지 주변관정의 NO<sub>3</sub>-N, Cl<sup>-</sup> 및 NH<sub>4</sub>-N의 농도 분포를 매몰지와의 이격거리에 따라 분석한 결과, 매몰지 침출수의 영향보다는 주변 축산시설 및 주변 오염원의 영향이 큰 것으로 판단된다.

**고농도 질산성질소 조사관정의 시간적 농도 변화 특성 분석** 가축매몰지 침출수의 대표적인 오염물질로 알려진 NO<sub>3</sub>-N, Cl<sup>-</sup> 및 NH<sub>4</sub>-N 농도에 대하여 조사시기별 변화 특성을 검토하기 위하여 가축매몰지 주변관정 중 지속적으로 NO<sub>3</sub>-N가 10 mg L<sup>-1</sup>를 초과하여 검출된 22개 관정을 대상으로 NO<sub>3</sub>-N, Cl<sup>-</sup> 및 NH<sub>4</sub>-N의 시기별 농도변화를 분석

하였다 (Fig. 4).

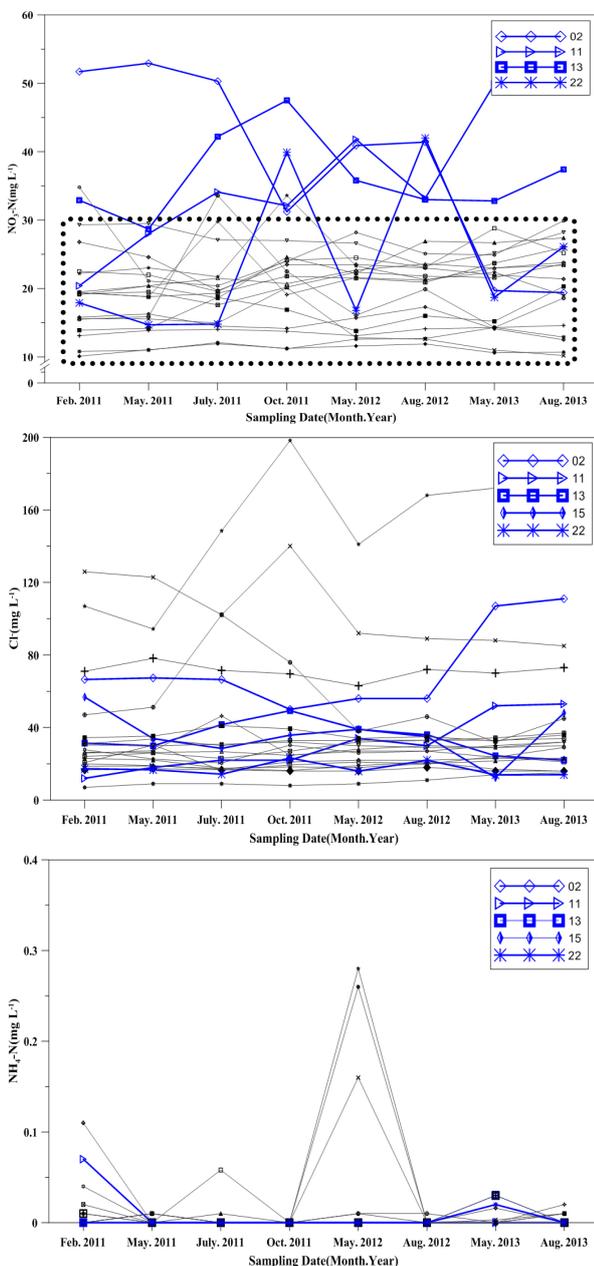
NO<sub>3</sub>-N 농도의 경우 대부분의 조사관정에서 시간적 경과에 따라 농도변화가 크게 나타나지 않으며 약 20~30 mg L<sup>-1</sup> 범위에서 불규칙하게 변동하는 추세를 보인다. 22개 관정 중 가축매몰지로부터 약 40 m 이격된 1개 관정에서 NO<sub>3</sub>-N 농도가 증가하는 추세가 나타난다 (Fig. 4의 11). 하지만 Cl<sup>-</sup>농도가 10~50 mg L<sup>-1</sup> 범위이며, 2011년 2월에 암모니아성질소가 0.07 mg L<sup>-1</sup>로 검출된 경우를 제외하고는 모두 검출한계 이하로 나타나 매몰지의 침출수에 의한 영향보다는 축사 및 주변 기타 오염원에 의한 영향으로 보인다. 22개 관정의 Cl<sup>-</sup>농도 변화를 분석한 결과 NO<sub>3</sub>-N 농도변화와 유사하게 특정한 양상은 나타나지 않으며, 대부분 Cl<sup>-</sup>농도가 약 30~40 mg L<sup>-1</sup> 범위로 농축산지역 주변관정의 평균 농도와 유사하게 나타난다. NH<sub>4</sub>-N는 대부분 검출한계 이하로 나타나며 2012년 5월에 일부관정에서 일시적으로 급격히 NH<sub>4</sub>-N 농도가 높게 검출되나 고농도 NH<sub>4</sub>-N 검출관정의 매몰지와 이격거리는 약 30~80 m로 매몰지의 영향보다는 관정 주변 오염원의 오염물질 유입에 의한 영향으로 판단된다.

### Summary

가축매몰지에 의한 주변지역 지하수 영향여부 및 수질오염 특성을 파악하기 위하여 2011년부터 2013년까지 지속적으로 조사가 이루어진 가축매몰지로부터 100 m 이내에 위치한 이용관정과 2012년부터 조사가 진행된 가축매몰지가 없는 농축산지역의 이용관정의 수질을 현장과 실험실에서 각각 측정, 분석하였다.

가축매몰지 주변 관정과 농축산지역 이용관정의 현장수질 측정 결과, pH와 EC의 조사시기별 평균값이 가축매몰지 주변지역과 농축산지역이 유사하며, 시간적 변화에 따른 변화가 크게 나타나지 않는다. 가축매몰지 및 농축산지역의 일부관정에서 환원환경을 나타내고 있지만 대부분 산화환경을 지시하고 있다. EC와 산화환원전위 역시 시간 경과와 더불어 높은 농도의 오염원 유입에 의한 영향은 보이지 않는 것으로 조사되었다.

가축매몰지 침출수 영향여부를 판단하는 주요 지시인자인 NO<sub>3</sub>-N, Cl<sup>-</sup> 및 NH<sub>4</sub>-N분석결과를 살펴본 결과, 가축매몰지와 축산지역의 농도가 유사하거나 축산지역의 농도가 다소 높게 조사되었다. 가축매몰지와 조사관정의 이격거리에 따른 주요 오염물질의 농도 분포 특성을 분석한 결과 이격거리와 농도 분포의 상관성은 보이지 않았다. 일부 관정에서 NO<sub>3</sub>-N, Cl<sup>-</sup> 및 NH<sub>4</sub>-N가 상대적으로 고농도로 검출되었으나 이들 관정과 매몰지와의 이격거리가 약 30 m 이상이며 오염물질 항목별로 검출되는 특성이 달라 매몰지 침출수와 유의한 상관성이 보이지 않는 것으로 보인다.



**Fig. 4. Seasonal variations of NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N and Cl<sup>-</sup> concentrations from carcass burial areas.**

가축매몰지 주변 관정 중 질산성질소가  $10 \text{ mg L}^{-1}$  이상 지속적으로 검출되는 관정을 대상으로 시간경과에 따른 농도변화 특성을 분석하였다. 일부 관정을 제외하고는 시간경과에 따른 의미있는 농도변화가 나타나지 않으며,  $\text{Cl}^-$  과  $\text{NH}_4\text{-N}$  항목별로 검출되는 특성이 다르다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{Cl}^-$  및  $\text{NH}_4\text{-N}$  등 매몰지 침출수 영향여부를 지시하는 주요 인자를 대상으로 매몰지가 없는 농축산지역의 농도, 매몰지와 이격거리, 시기별 검출 특성을 검토한 결과, 가축매몰지의 영향보다는 관정 주변의 다른 오염원 (축산분뇨, 비료 살포 등)의 영향인 것으로 판단된다.

## References

- Cey, E.E., D.L. Rudolph, R. Aravena, and G. Parkin. 1999. Role of the riparian zone in controlling the distribution and fate of agricultural nitrogen near a small stream in southern Ontario. *J. Contam. Hydro. Sci.* 37:45-67.
- Choi, N.C., E.J. Choi, B.J. Kim, J.A. Park, S.B. Kim, and C.Y. Park. 2013. Characterization of Water Quality and the Aerobic Bacterial Population. *The journal of Engineering Geology*, 23(1):37-46.
- Glanville, T.D. 2000. Impact of livestock burial on shallow groundwater quality. Paper presented at ASAE Mid-Central Meeting, St. Joseph, Missouri (No. MC00-116).
- Jeon, S.R., S.J. Park, H.S. Kim, S.K. Jung, Y.U. Lee, and J.I. Chung. 2011. Hydrogeochemical characteristics and estimation of Nitrate contamination source of groundwater in the Sunchang area, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*. 47(2): 185-197.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2011. Guideline of the emergency action for the Food and mouth disease (in Korean).
- Ministry of Environment. 2013. Guideline of the environmental management at the carcass burial areas (in Korean).
- Kang, M.A., and Y.S. An. 2013. Characterization of Water Quality and the Aerobic Bacterial Population in Leachate Derived from Animal Carcass Disposal. *The Journal of Engineering Geology*. 23(4):427-434.
- Kim, K.H., S.T. Youn, G.T. Chae, B.Y. Choi, S.O. Kim, K.J. Kim, H.S. Kim, and C.Y. Lee. 2002. Nitrate contamination of alluvial groundwaters in the Keum river watershed area: Source and Behaviors of Nitrate, and Suggestion to secure water supply. *The journal of Engineering Geology*. 12(4):471-484.
- Kim, Y.T., and N.C. Woo. 2003. Nitrate Contamination of Shallow Groundwater in an Agricultural area having Intensive Livestock Facilities. *Korean society of soil and groundwater environment*. 8(1):55-67.
- USGS. 1981. Guidelines for collection and field analysis of groundwater samples for selected unstable constituents.