

## A study on estimating background concentration of groundwater for water quality assessment in non-water supply district

상수도 미보급 지역의 지하수 수질상태 평가를 위한 배경농도 산정방법에 관한 연구

Young-Do Yea<sup>1\*</sup> · Yong-gyo Seo<sup>1</sup> · Rak-Hyeon Kim<sup>1</sup> · Dong-Jun Cho<sup>2</sup> · Kwang-Shik Kim<sup>2</sup> · Wook-Sang Cho<sup>3</sup>

여영도<sup>1\*</sup> · 서용교<sup>1</sup> · 김락현<sup>1</sup> · 조동준<sup>2</sup> · 김광식<sup>2</sup> · 조욱상<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국환경공단 · <sup>2</sup>(주)유신 · <sup>3</sup>수원대학교

**Abstract :** For introducing the groundwater quality assessment using background concentration of groundwater, several methods had been studied to estimate the background concentration of groundwater and to suggest the background concentration of study area. Some methods such as Box whisker plot, Percentile and Cumulative probability distribution had been adopted to estimate background concentration, and it was evaluated that the Cumulative probability distribution method presents more reasonable background concentration because it can consider the data distribution. So we estimated the background concentration of study area using cumulative probability distribution method. We suggested the background concentration for each hydrogeology respectively in case hydrogeological water quality similarity is very low.

**Key words :** Background concentration, Groundwater quality assessment, Box and whisker plot, Percentile, Cumulative probability distribution

**주제어 :** 배경농도, 지하수 수질평가, 박스플롯, 백분위수, 누적확률분포

### 1. 서론

우리나라 상수도 보급률은 2011년 말 기준으로 94.6 %에 달하나 대부분 대도시 또는 지방의 인구 밀집지역 등에 편중되어 있으며, 농어촌 등 먼 지역의 보급률은 58.8 %에 불과하여 상수도 보급의 지역적 불균형이 심각한 것으로 나타났다. 이에 정부에서는 균등한 물복지 실현을 위하여 농어촌지역 및 도서지역의 취수원이 취약한 소규모 수도시설을 상수관로를 통해 공급하는 사업을 추진하고 있다(ME, 2013). 그러나 산악지형이 발달한 국내의 지형특성상 사업 완료 후에도 농어촌 중 약 20 %에 달하는 지역은 상수도 미보급 지역으

로 남게 되어 지속적으로 지하수를 음용수로 이용하여야 하는 상황이다.

지하수를 음용으로 개발 및 이용하는 지역은 지하수 수질이 먹는물 수질기준을 만족할 뿐만 아니라 장기적으로 수질 안정성이 유지되어야 한다. 지하수 수질은 지질, 강우, 토지이용 등과 같은 지역적 특성에 따라 상이하게 나타나므로 수질상태와 지역적 특성에 따라 적절한 조치 및 관리가 필요하다.

유럽연합, 미국 등과 같이 음용수 수원으로서 지하수 비중이 높은 나라에서는 안전한 음용 지하수 공급을 위하여 지하수의 배경농도와 수질기준을 이용한 지하수 오염여부를 판단하고, 이를 토대로 엄격한 지하수 근원지(함양지) 관리를 수행해 오고 있다(Müller et al., 2006). 반면 우리나라

\* Received 08 May 2014, revised 10 June 2014, accepted 12 June 2014.

\* Corresponding author: Tel : 032-590-3872 E-mail : ydyea@keco.or.kr

라의 지하수 관리는 먹는물, 생활용, 농·어업용, 공업용 등 지하수 이용 용도에 따라 수질기준을 달리 적용하고 있으며, 지하수 이용자는 지하수 수질오염 확인 시 용도 변경과 원상복구 등의 관정폐쇄를 선호하여 오염된 지하수가 실질적으로 방치되고 있는 실정으므로 음용 지하수 확보 및 수질보존을 위한 지하수 수질관리 체계의 개선이 요구된다.(Hyun et al., 2012)

유럽 위원회(European Commission, EC)에 따르면, 배경농도는 인위적 영향이 없거나 매우 적은 자연상태의 지하수체에 대한 물질농도 또는 지시값으로 정의되며(EC, 2006), 연구자에 따라 “baseline concentration, geochemical baseline, background concentration, ambient background”로 다양하게 명명되고 있다(Edmunds et al., 2003; Nieto et al., 2005; Salminen et al., 1997; Panno et al., 2006; Reimann et al., 2005). 이러한 용어에 대한 정의는 모두 인위적 영향이 없는 상태에서 자연적으로 함양되는 특정지역에 대한 지하수 수질을 의미한다.

현재까지 국내에서는 주로 먹는물 수질기준만을 이용하여 지하수 분류 및 오염 평가를 수행하거나, 질산염과 같은 단일 수질항목에 대해서만 배경농도 연구가 진행되어 왔다(Ham, 2008; Kim et al., 2001; Yoon et al., 2012).

따라서 본 연구에서는 먹는물 수질기준 항목을 대상으로 배경농도 산정방법에 대하여 비교·분석하고 연구지역의 지하수 배경농도를 제시함으로써 지역별 지하수 수질상태 평가 및 오염평가 기준을 마련하고자 하였다.

## 2. 연구지역

연구지역은 경기도 남단에 위치한 안성시로서 면적은 553.5 km<sup>2</sup>이며, 남북으로 형성된 산계와 이를 분수령으로 동서방향으로 하천이 발달한다.

한국지질자원연구원에서 발간한 1:50,000 축

척의 지질도폭에 의하면 연구지역의 북서 및 남동지역에 변성암류가 분포하며, 중앙부에서 북동-남서방향으로 화성암류가 발달하고, 제4기층은 중앙부에서 북동-남서방향으로 분포한다(Kang et al., 1980; Kim et al., 1980; Kim et al., 1989; Oh et al., 1973; Lee et al., 1989)(Fig.1).

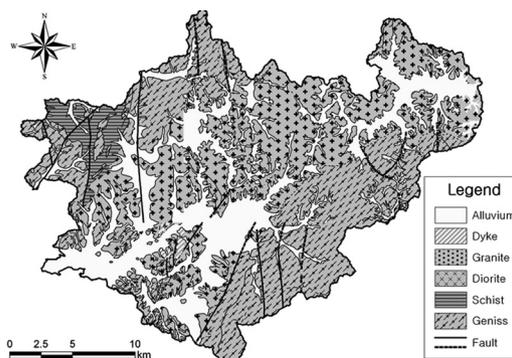


Fig. 1. Geological map of study area based on 1:50,000 map.

2011년 연구지역의 상수도 보급률은 88.6 %로 전국 보급률(94.6 %)에 비해 상대적으로 낮으며, 상수도 미보급 지역에서는 지하수를 이용할 것으로 판단된다. 연구지역 내 등록된 지하수 이용시설은 약 25,600개 이상이고 지하수 이용량은 연간 약 72,162천 m<sup>3</sup>, 연간 공당 이용량은 1,816 m<sup>3</sup>로 지하수 개발 및 이용이 활발하게 이루어지고 있는 지역에 해당한다(MLTMA, 2012).

또한 토지이용현황을 살펴보면, 전체면적 중 임지 49.7 %, 농지 37.1 %, 도시 및 주거지 8.2 %, 수면지역 4.1 %, 인공녹지 1.0 % 등으로 구성되어 임지와 농지가 주로 분포하고 있는 특징이 있다(NGII, 2009).

## 3. 연구방법

### 3.1 조사지점 선정 및 시료채취

연구지역 내 조사지점은 지표 또는 천부로부터의 인위적인 오염 영향이 없는 자연상태의 배

경농도를 대표할 수 있는 암반대수층의 지하수 수질자료를 확보할 수 있는 암반관정을 대상으로 하였다. 이를 위하여 관정 개발심도가 100 m 이상인 지하수 이용시설을 1차 조사대상으로 하였으며, 이 중에서 수문지질, 조사밀도 등을 고려하여 257개 지점을 최종으로 선정하였다. 시료채취는 2012년 6월에 10일 동안 실시하였으며, 지점별로 현장측정, 주 양·음이온 및 먹는 물 수질기준 항목의 분석을 실시하였다.

### 3.2 배경농도

#### 1) 배경농도 수질항목

본 연구에서는 먹는물 수질기준에 제시된 수질항목 중 대수층의 수질특성이 잘 반영될 수 있으며 통계분석이 가능한 수질항목을 별도로 선별하여 배경농도를 산정하였다. 최종적으로 본 연구에서 선별한 수질항목은 불소, 비소, 질산성 질소, 보론, 망간, 아연, 알루미늄, 황산이온, 과망간산칼륨소비량, 탁도, 경도, 염소이온이다.

#### 2) 사전선별(Preselection)

사전선별은 분석기기의 오차나 인간 활동에 의해 오염된 것으로 판단되는 지하수 수질자료를 사전에 선별하여 제거함으로써 분석 자료의 신뢰도를 향상시키기 위하여 실시한다. 본 연구에서는 유럽의 BRIDGE 사업을 포함한 여러 연구자들이 제시한 사전선별 기준을 종합적으로 검토하였으며, 다음과 같은 기준을 적용하였다 (Fadiran et al., 2005; Müller et al., 2006; Jasper et al., 2007; Wendland et al., 2008; Daniela et al., 2012).

- ① 인위적인 오염의 영향을 최소화하기 위하여 질산염이온( $\text{NO}_3^-$ )이 10 mg/l를 초과하는 자료는 배경농도 분석에서 제외한다.
- ② 수질자료의 신뢰성 확보를 위하여 이온균형이  $\pm 10\%$ 를 초과하는 자료는 배경농도 분석에서 제외한다.
- ③ 온천 등과 같은 열수대수층(Hydro-thermal aquifer)과 염화나트륨(NaCl)

이 1,000 mg/l를 초과하거나 염소이온( $\text{Cl}^-$ )이 250 mg/l를 초과하는 염수대수층(Salty aquifer)은 수질특성이 일반 대수층과 현저히 다르게 나타나므로 배경농도 분석에서 제외한다.

- ④ 유해영양유기물질이 검출된 자료는 인위적인 오염에 의해 영향을 받은 것으로 판단하여 배경농도 분석에서 제외한다.

#### 3) 분석방법

##### ○ 박스플롯 (Box and whisker plot)

박스플롯은 최대값, 최소값, 중앙값, 사분편차를 사용하여 자료의 측정값들이 어떤 모양으로 분포되어 있으며, 극단값들은 어떠한지를 알 수 있도록 하는 분석방법으로서 배경농도는 이상값(outlier)을 제외한 범위의 최대값을 적용한다. 여기서 이상값은 1사분위(Q1)와 3사분위(Q3)의 범위를 R이라고 할 때  $Q3+1.5R$ 에 해당하는 값이다. 이 방법은 뉴질랜드 오클랜드 지방의 토양 내 무기물질 배경농도 분석 시 적용된 바 있다(Auckland Regional Council, 2001). 또한 우리나라의 지하수 분야에서는 측정된 수질항목별 분포양상을 살펴보는데 주로 이용하였다(Kim et al., 2003; Kim et al., 2005; Kim et al., 2013).

##### ○ 백분위수 (Percentile)

백분위수는 측정값을 작은 쪽에서부터 세어 몇 %째의 값이 어느 정도인지를 나타내는 통계적 표시법이다. 현재 유럽 및 다양한 국가에서 지하수 수질항목에 대한 배경농도 산정방법으로 이용하고 있으며, 국가별로 차이는 있으나 주로 90 ~ 97.7분위수를 적용하고 있다(Shand et al., 2007; Wendland et al., 2008; Begona et al., 2013).

##### ○ 누적확률분포

(Cumulative Probability Distribution)  
누적확률분포 곡선은 특정 성분의 농도 분포가 인위적 오염과 자연적 과정 등에 의해 통계적으로 서로 다른 확률밀도함수를 따르는 집단

으로 구분될 수 있음을 이용하여 각 집단의 경계인 문턱값을 추정하는데 이용한다(Runnells, 1998). 이 방법은 단일정규분포 집단 또는 로그정규분포 집단의 자료가 누적확률분포 곡선상에서 직선을 형성한다는 사실에 근거하며, 두 개 또는 그 이상의 집단으로부터 영향을 받은 집단은 확연하게 드러나는 변곡점을 통한 곡선을 나타내게 되고, 이때 변곡점은 두 가지 또는 그 이상의 중복된 집단에서의 경계값을 의미한다. 적용방법은 먼저 자료의 정규분포 여부를 검증하고, 정규분포를 따르지 않을 때에는 로그를 이용하여 로그정규분포를 만든 뒤 고함량부터 정렬하여 누적 백분율을 계산하고 그래프를 작성한다. 이때 데이터 집단이 단일 집단이면 직선으로 나타나며, 두 개 혹은 그 이상 혼합된 모집단이면 변곡점을 가진 곡선으로 나타나고, 변곡점은 둘 혹은 그 이상의 중복된 데이터 집단을 구별할 수 있는 문턱값으로서 배경농도를 지시한다(Panno et al., 2006).

미해군극동공병단(NAVFAC, 2003)은 확률곡선을 이용하여 비소와 납에 대한 배경농도를 산정하였으며, Panno et al.(2006) 및 Ham(2008)은 질산염에 대해 확률곡선을 이용하여 배경농도와 문턱값(Threshold Value)을 산정한 바 있다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 수질분석 결과

Pipe-diagram을 이용한 수질유형 분석결과, 광물의 용해 및 화학적 풍화로부터 유래되어 오염되지 않은 지하수에서 나타나는 Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> 유형이 전체 자료의 80 %로 우세하게 나타나며, 농업활동 등 인위적인 오염원의 영향을 받은 지하수에서 나타나는 Ca-Mg-Cl-SO<sub>4</sub> 유형이 전체 자료의 12 %를 차지한다. 수문지질단위별 수질유형 검토결과 Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> 유형은 변성암 77.9 %, 화성암 81.9 %로 우세하게 나타나고, Ca-Mg-Cl-SO<sub>4</sub> 유형은 변성암

9.3 %, 화성암 14.0 %의 분포를 보여 수문지질별 수질유형 특성은 서로 유사한 것으로 나타났다(Fig. 2).

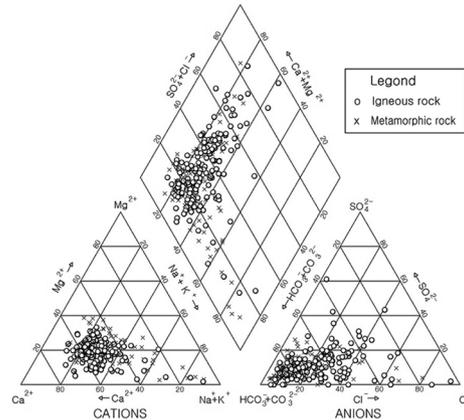


Fig. 2. Piper diagram of the groundwater sample in the study area.

먹는물 수질기준 검토결과, 총 109개 지점에서 수질기준을 초과하였으며, 초과율은 전체 자료 수 기준으로 42.4 %이다. 주요 초과항목은 질산성질소, 불소, 망간, 일반세균, 탁도, 색도, 비소, 철, 분원성대장균, 총대장균군, 크롬, 염소, 납, 알루미늄, 아연 등이다. 먹는물 수질기준을 초과한 수질항목별 현황을 살펴보면, 질산성질소는 257개 지점 중 41개 지점에서 초과하였으며, 초과지점의 평균 농도는 21.34 mg/l로서 생활용수 기준 20.0 mg/l 보다 높은 값을 보였다. 주로 초과된 지역은 평지에 해당되며, 거주인구가 많고 농경지 및 축사 등 잠재오염원이 많이 분포하고 있는 지역이다. 불소는 23개 지점에서 초과하였으며, 주로 기반암이 변성암인 지역에서 높은 농도를 보였다. 비소는 13개 지점에서 초과하였으며, 주로 화성암과 변성암의 경계부에 인접한 변성암 지역에서 농도가 높게 나타났다.

##### 4.2 배경농도 산정 결과

###### 1) 사전선별 결과

총 257개의 수질자료에 대하여 사전선별 기

준을 적용한 결과, 질산염이온(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)이 10 mg/l를 초과하는 자료가 166개, 염소이온(Cl<sup>-</sup>)이 250 mg/l를 초과하는 자료가 1개, 유해영양유기물질이 검출된 자료가 86개이며, 이온균형이 ±10 % 이상 초과하거나 열수대수층 또는 염수대수층에 해당하는 자료는 없는 것으로 나타났다. 최종적으로 사전선별 기준에 1개 이상 해당하는 193개 자료를 제외한 64개의 수질자료가 배경농도 산정에 이용되었다. 본 연구지역에서는 사전선별 기준을 초과하는 수질자료가 75.1 %로 나타났는데 이는 조사 대상 관정이 공용 또는 개인관정으로 활용되고 있는 시설에 해당되며, 대부분 민가, 농경지 또는 축사 등에 인접하여 위치하고 있어 인위적 오염원의 영향을 받을 가능성이 높기 때문인 것으로 판단된다.

2) 통계분석 결과

배경농도 분석에 이용된 64개의 수질자료는 수문지질별로 화성암 31개와 변성암 33개이며,

각 수질항목별 기술통계값은 Table 1과 같다. 여기서 수질분석 결과값이 불검출(Not detected value)로 나타난 경우에는 먹는물 수질 공정시험 기준에 기재된 각 항목별 시험결과 표시한계값의 50 %를 적용하였다(ME, 2012).

일반적으로 지구화학적 자료는 양왜도 분포를 이루므로 수문지질별 수질항목값 비교는 기하평균(median)이 더 유용하다. 이는 전체 자료 중 수개의 고함량을 갖는 자료가 존재할 때 산술평균은 이들 값의 영향을 크게 받지만, 기하평균은 산술평균에 비해 영향을 적게 받아 지구화학적 자료를 비교하는데 더 유용한 지시자가 되기 때문이다(Chon, 1991).

연구지역 수질항목별 기하평균 분석결과를 살펴보면, 질산성질소, 망간, 아연, 알루미늄, 과망간산칼륨소비량, 탁도, 경도, 염소이온은 변성암보다 화성암에서 더 높은 함량을 보이고 있다. 전체 기하평균값은 비소, 보론, 알루미늄, 황산

Table 1. Descriptive statistics by hydrogeology

	F (mg/l)	As (mg/l)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	B (mg/l)	Mn (mg/l)	Zn (mg/l)	Al (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	KMnOcon. (mg/l)	Turbidity (NTU)	Hardness (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	
Drinking Water Quality Standards	1.5	0.01	10	1.0	0.3	3	0.2	200	10	1	1,000	250	
Total	N	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	
	Min	0.08	0.003	0.05	0.005	0.002	0.001	0.01	1.00	0.30	0.12	19.90	2.00
	Max	11.78	0.100	2.10	0.040	1.437	0.741	0.09	105.0	5.70	0.63	242.4	86.00
	Median	0.40	0.003	0.75	0.005	0.002	0.022	0.02	10.00	0.60	0.20	75.05	6.00
	Mean	1.15	0.008	0.95	0.010	0.106	0.076	0.02	13.67	0.69	0.25	90.43	12.33
	SD	2.15	0.016	0.76	0.009	0.288	0.145	0.02	15.78	0.71	0.12	52.75	15.44
Igneous Rock	N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	
	Min	0.08	0.003	0.05	0.005	0.002	0.004	0.01	1.00	0.30	0.15	29.80	2.00
	Max	2.89	0.100	2.10	0.040	1.203	0.741	0.07	105.0	5.70	0.63	220.0	45.00
	Median	0.37	0.003	1.10	0.005	0.014	0.049	0.02	9.00	0.60	0.26	88.10	10.00
	Mean	0.65	0.007	1.02	0.010	0.153	0.133	0.02	14.06	0.80	0.30	95.06	13.29
	SD	0.69	0.019	0.80	0.009	0.318	0.191	0.02	20.02	0.95	0.15	53.25	11.36
Meta-morphic Rock	N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
	Min	0.08	0.003	0.05	0.005	0.002	0.001	0.01	3.00	0.30	0.12	19.90	2.00
	Max	11.78	0.054	2.10	0.040	1.437	0.124	0.09	56.00	1.90	0.40	242.4	86.00
	Median	0.54	0.005	0.50	0.010	0.002	0.012	0.01	10.00	0.50	0.19	74.20	5.00
	Mean	1.62	0.009	0.87	0.005	0.062	0.023	0.02	13.30	0.59	0.20	86.08	11.42
	SD	2.86	0.012	0.73	0.009	0.254	0.028	0.02	10.68	0.34	0.05	52.71	18.63

Table 2. Results of normality test and non-parametric test

			F	As	NO <sub>3</sub> -N	B	Mn	Zn	Al	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	KMnOcon.	Turbidity	Hardness	Cl <sup>-</sup>	
shapiro-Wilk test	Igneous	P-value	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.030	0.000	
		Dec.	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject
	Meta-morphic	P-value	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000
		Dec.	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject	reject
Mann-Whitney U test	P-value	0.305	0.02	0.492	0.928	0.009	0.001	0.187	0.187	0.003	0.003	0.003	0.409	0.046	
	Dec.	retain	reject	retain	retain	reject	reject	retain	retain	retain	retain	reject	retain	reject	

이온, 과망간산칼륨소비량이 화성암의 기하평균 값과 유사하거나 동일하고, 망간, 탁도, 경도, 염소이온은 변성암의 기하평균값과 유사하며, 불소, 질산성질소, 아연은 화성암과 변성암의 중간 값을 갖는 것으로 나타났다(Table 1). 그러므로 수문지질에 따른 수질항 목별 배경농도의 차이를 추가적으로 검토하였다.

배경농도를 산정하는 과정에서 수질항목별 수질자료의 정규분포 검증을 위하여 정규성 검증법(Normality test) 중 95 % 신뢰수준으로 Shapiro-Wilk test를 실시하였다. Shapiro-Wilk test는 p-value가 0.05 보다 크면 자료가 정규분포를 보이는 것으로 판단하고 모수 검증법(parametric test)을 선택하며, p-value가 0.05보다 작게 나타나면 자료가 정규분포가 아니라고 판단하고 비모수 검정법(Non parametric test)을 선택한다. Shapiro-Wilk test 결과, 모든 수질항목이 p-value가 0.05보다 작아 “기각(reject)”으로 판정되어 정규분포를 따르지 않는 것으로 판단되었다(Table 2).

다음으로 수문지질별 수질자료의 차이를 평가하기 위해 비모수 검증법(Non-parametric test) 중 비정규 분포를 따르는 서로 다른 두 집단의 차이를 분석하는 통계기법인 Mann-Whitney U test(95 % 신뢰수준)를 실시하였다(Helsel et al., 2002). Mann-Whitney U test는 p-value가 0.05 보다 크면 두 집단간의 분포가 통계적으로 차이가 없음을 의미하며, p-value가 0.05보다 작게 나타나면 두 집

단은 통계적으로 차이가 있다는 것을 의미한다. Mann-Whitney U test 결과, 불소, 질산성질소, 보론, 황산이온, 과망간산칼륨소비량, 경도, 알루미늄 항목은 p-value 값이 유의수준인 0.05를 초과하여 수문지질의 차이가 있더라도 전반적으로 유사한 농도 분포를 갖는 것으로 나타났으며, 이 외 비소, 망간, 아연, 탁도, 염소이온은 유의수준보다 낮아 농도 분포가 수문지질에 따라 다른 것으로 나타났(Table 2). 따라서 유사한 농도 분포를 갖는 수질항목은 수문지질에 상관없이 모든 수질자료를 배경농도 분석자료로 활용이 가능하며, 농도 분포에 차이를 갖는 수질항목은 수문지질별 수질자료를 이용하여 배경농도를 산정하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

### 3) 배경농도 산정 결과

연구지역 전체와 각 수문지질 분포지역에 대한 배경농도 산정을 위하여 각 경우에 대한 박스플롯과 누적확률분포를 살펴보았다(Fig. 3, 4). 박스플롯, 분위수(90 %, 95 %, 97.7 %) 및 누적확률분포로부터 산정된 배경농도는 Table 3과 같다. 여기서 누적확률분포를 이용한 분석은 항목별 농도값을 로그화하고 로그-정규분포에 관한 이론적인 누적확률분포(Cumulative Probability Distribution : CPD) 곡선을 함께 그래프로 도시하여 변곡점을 파악하였다.

배경농도 산정방법별 배경농도의 크기는 주로 박스플롯 > 90분위수 > 누적확률분포 방법 순으로 나타나는데, 이는 수질자료 분포에서 박스

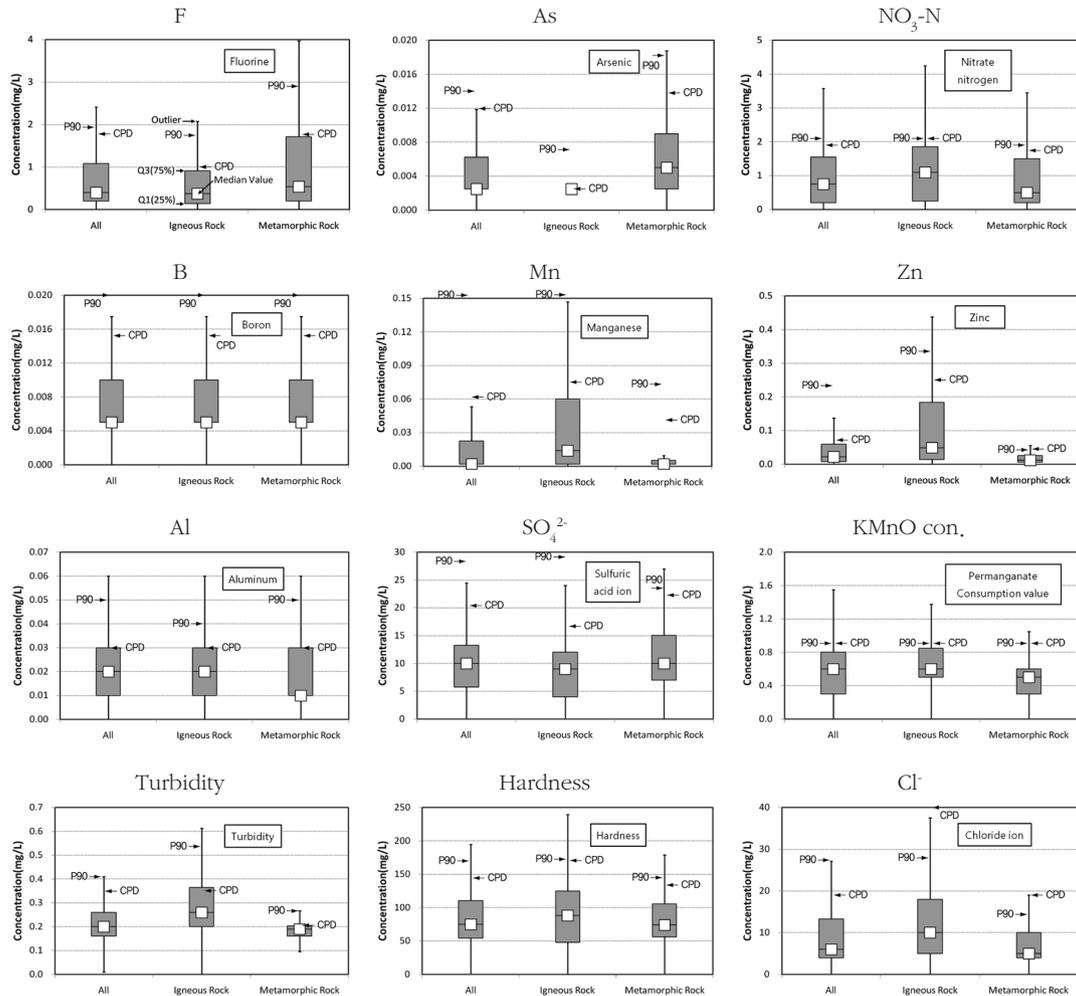


Fig. 3. Box-plot with 90percentile(P90) and Cumulative probability distribution(CPD) by Groundwater quality items.

플롯의 이상값이 90분위수보다 높게 선정되고 있다는 것을 의미하며, 보론, 망간, 황산이온과 같이 전체 자료 중 고함량을 갖는 자료가 일부 존재하는 경우에는 90분위수의 값이 높게 나타나기도 한다(Table 3, Fig. 3). 이에 비해 누적확률분포 값은 망간을 제외한 수질항목에서 박스플롯의 3사분위(75분위수)와 이상값 사이에 위치하고 있으며, 백분위수로는 75분위수 ~ 90분위수 사이에 해당한다.

연구지역 전 지역과 각 수문지질 분포지역에 대하여 누적확률분포를 통해 산출된 배경농도의 차이를 비교하기 위하여 배경농도 비율(Rate of background concentration)을 살펴보았다

(Table 4). 배경농도 비율은 수질항목별로 각 수문지질의 배경농도를 전 지역에 대한 배경농도로 나누어 백분율로 나타낸 것으로서 배경농도의 비율이 100 %에 가까울수록 전 지역에 대한 배경농도와 해당 수문지질의 배경농도의 차이가 적다는 것을 의미하며, 100 %를 초과하는 경우에는 수문지질별 배경농도가 전 지역의 배경농도보다 높고, 반대로 100 % 미만인 경우에는 전 지역의 배경농도보다 낮음을 의미한다. 그리고 수문지질간의 배경농도 비율 차이를 통해 수문지질별 배경농도의 유사성을 파악할 수 있다.

앞서 Mann-Whitney U test에서 수문지질별 수질자료 분포가 유사한 것으로 나타난 불

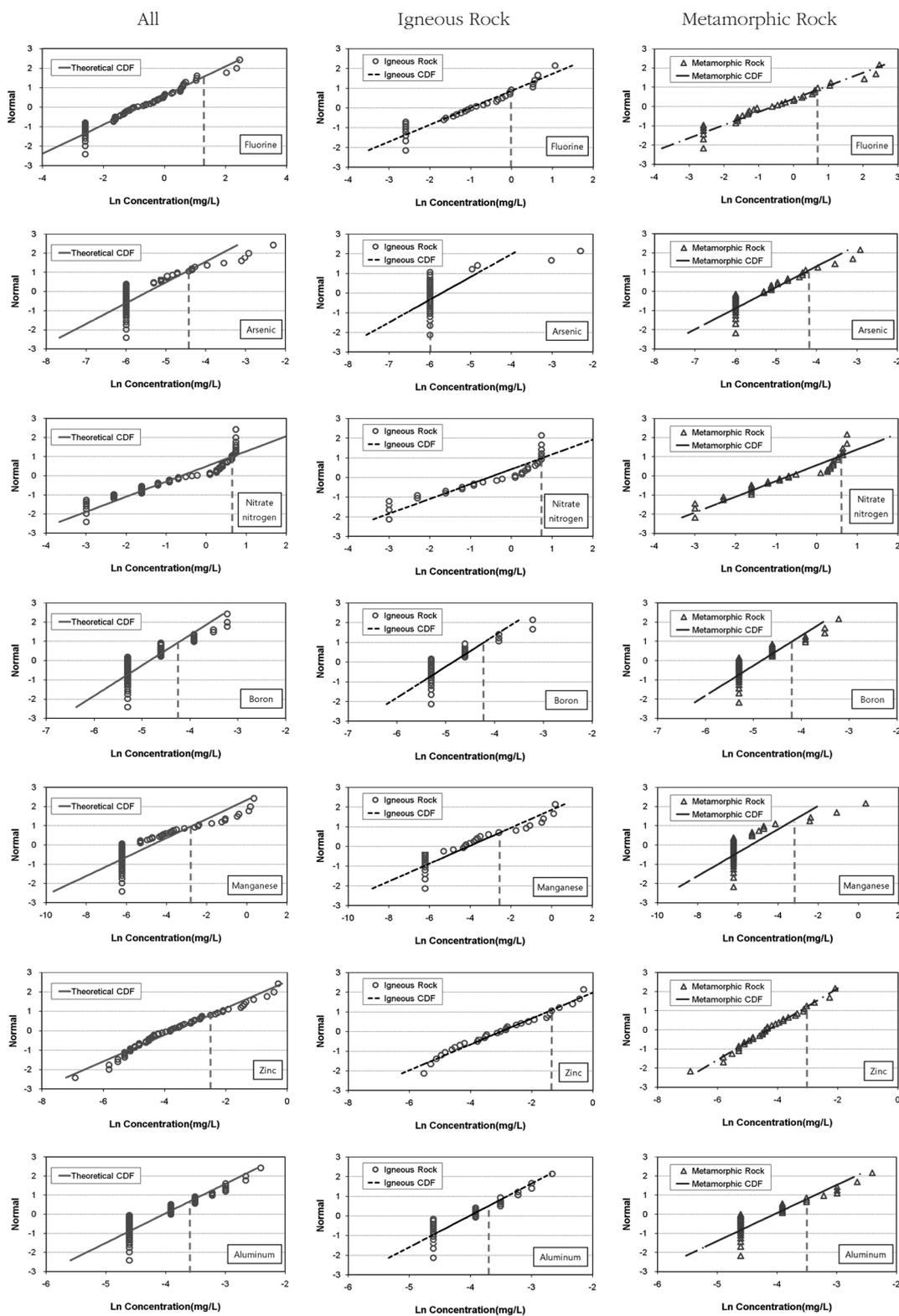


Fig. 4. Cumulative probability plot for determining background concentration.

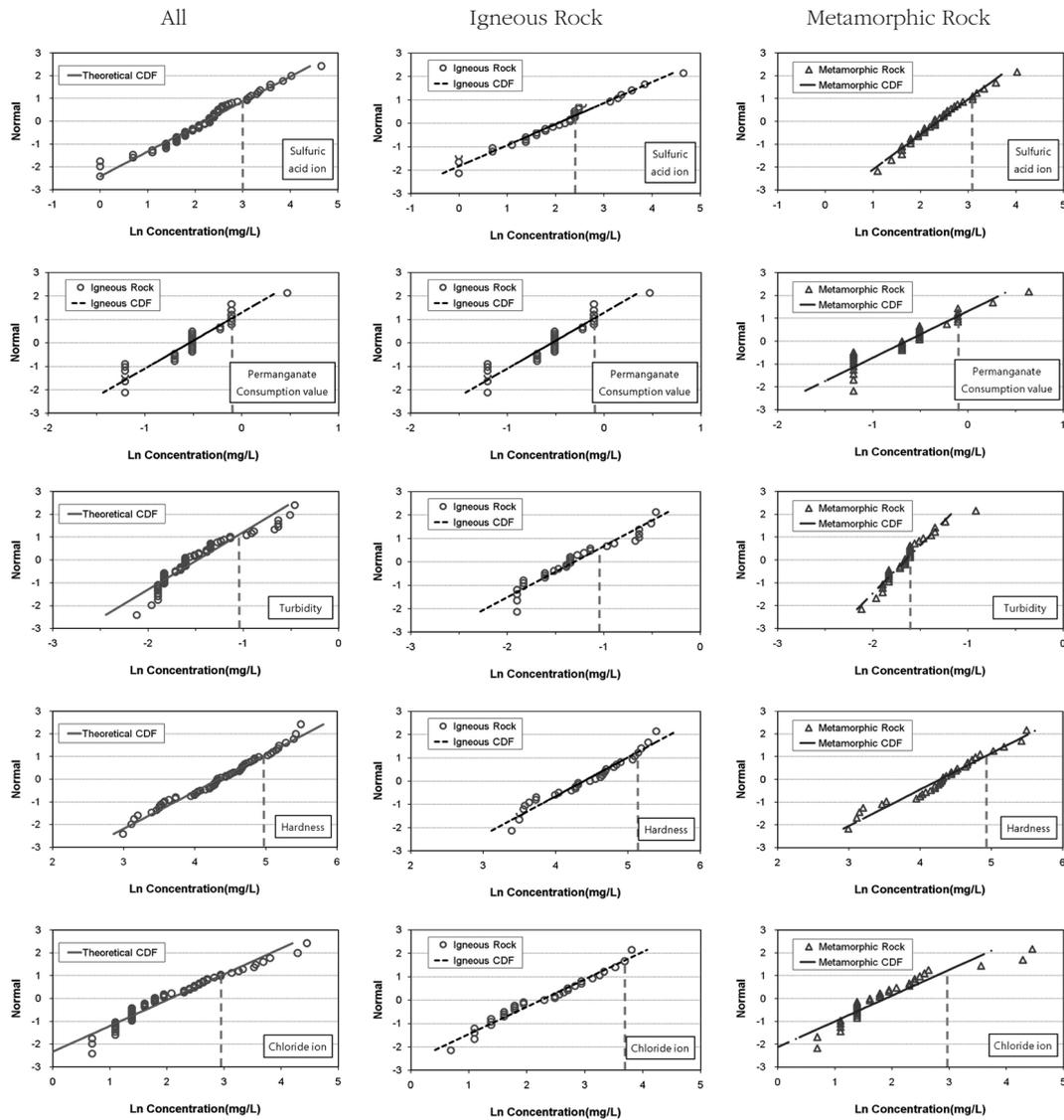


Fig. 4. Cumulative probability plot for determining background concentration(cont.).

Table 4. Rate of background concentration by hydrogeology using CPD Method

hydrogeological B.C. (%) All B.C	F	As	NO <sub>3</sub> -N	B	Mn	Zn	Al	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	KMnOcon.	Turbidity	Hardness	Cl <sup>-</sup>
Igneous Rock(a)	55	25	109	100	121	301	100	82	110	100	116	211
Metamorphic Rock(b)	100	117	95	100	67	61	100	122	63	57	92	101
ABS(a-b)	45	92	15	0	54	240	0	40	48	43	25	110

B.C. : Background concentration, CPD : Cumulative Probability Distribution

Table 3. Background concentration by hydrogeology

		F (mg/l)	As (mg/l)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	B (mg/l)	Mn (mg/l)	Zn (mg/l)	Al (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	KMnOcon. (mg/l)	Turbidity (NTU)	Hardness (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
Drinking Water Quality Standards		1.5	0.01	10	1.0	0.3	3	0.2	200	10	1	1,000	250
All													
Box-Plot	Q1	0.20	0.003	0.20	0.005	0.002	0.008	0.01	5.8	0.30	0.16	54.5	4.0
	Median	0.40	0.003	0.75	0.005	0.002	0.022	0.02	10.0	0.60	0.20	75.1	6.0
	Q3	1.08	0.006	1.55	0.010	0.023	0.060	0.03	13.3	0.80	0.26	110.6	13.3
	Whisker (±)	1.33	0.006	2.03	0.008	0.031	0.077	0.03	11.3	0.75	0.15	84.2	13.9
	level	2.41	<b>0.012</b>	3.58	0.018	0.054	0.137	0.06	24.6	1.55	0.41	194.8	27.2
Percentile	P90	<b>1.97</b>	<b>0.014</b>	2.10	0.020	<b>0.323</b>	0.230	0.05	27.7	0.90	0.41	168.6	27.4
	P95	<b>2.91</b>	<b>0.043</b>	2.10	0.030	<b>0.667</b>	<b>0.323</b>	0.05	36.0	0.90	0.53	194.0	39.3
	P97.7	<b>9.29</b>	<b>0.052</b>	2.10	0.040	<b>1.161</b>	<b>0.589</b>	0.07	52.0	1.47	0.57	223.2	60.4
CPD	<b>1.82</b>	<b>0.012</b>	1.92	0.015	0.061	0.082	0.03	20.1	0.90	0.35	145.5	19.0	
Igneous Rock													
Box-Plot	Q1	0.13	0.003	0.25	0.005	0.002	0.014	0.01	4.0	0.50	0.20	48.1	5.0
	Median	0.37	0.003	1.10	0.005	0.014	0.049	0.02	9.0	0.60	0.26	88.1	10.0
	Q3	0.91	0.003	1.85	0.010	0.060	0.184	0.03	12.0	0.80	0.37	124.7	18.0
	Whisker (±)	1.17	-	2.40	0.008	0.087	0.254	0.03	12.0	0.45	0.25	114.8	19.5
	level	<b>2.08</b>	0.003	4.25	0.018	0.147	0.438	0.06	24.0	1.25	0.62	239.5	37.5
Percentile	P90	<b>1.69</b>	0.007	2.10	0.020	<b>0.620</b>	0.334	0.04	29.0	0.90	0.53	170.9	28.0
	P95	<b>1.83</b>	<b>0.029</b>	2.10	0.030	<b>0.893</b>	0.582	0.05	41.5	0.90	0.57	187.8	37.0
	P97.7	<b>2.21</b>	<b>0.065</b>	2.10	0.040	<b>1.139</b>	0.677	0.06	65.0	1.13	0.61	203.9	41.6
CPD	1.00	0.003	2.10	0.015	0.074	0.247	0.03	16.5	0.90	0.35	169.0	40.0	
Metamorphic Rock													
Box-Plot	Q1	0.20	0.003	0.20	0.005	0.002	0.006	0.01	7.0	0.30	0.16	56.3	4.0
	Median	0.54	0.005	0.50	0.005	0.002	0.012	0.01	10.0	0.50	0.19	74.2	5.0
	Q3	1.71	0.009	1.50	0.010	0.005	0.026	0.03	15.0	0.60	0.20	105.3	10.0
	Whisker (±)	2.27	0.010	1.95	0.008	0.005	0.030	0.03	12.0	0.45	0.06	73.5	9.0
	level	<b>3.98</b>	<b>0.019</b>	3.45	0.018	0.010	0.056	0.06	27.0	1.05	0.26	178.8	19.0
Percentile	P90	<b>2.89</b>	<b>0.018</b>	1.90	0.020	0.074	0.047	0.05	23.6	0.90	0.26	147.3	13.8
	P95	<b>8.83</b>	<b>0.035</b>	1.98	0.030	0.190	0.078	0.06	31.2	1.06	0.27	196.5	50.2
	P97.7	<b>10.95</b>	<b>0.047</b>	2.10	0.033	<b>0.628</b>	0.109	0.08	41.3	1.46	0.32	230.2	76.4
CPD	<b>1.82</b>	<b>0.014</b>	1.82	0.015	0.041	0.050	0.03	22.2	0.90	0.20	133.3	19.1	

CPD : Cumulative Probability Distribution, **Bold** : Exceed Drinking Water Quality Standards

Table 5. Background concentration of groundwater by hydrology in study area

		F (mg/l)	As (mg/l)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	B (mg/l)	Mn (mg/l)	Zn (mg/l)	Al (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	KMnOcon. (mg/l)	Turbidity (NTU)	Hardness (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
Drinking Water Quality Standards		1.5	0.01	10	1.0	0.3	3	0.2	200	10	1	1,000	250
Study area	Igneous Rock		0.003			0.074	0.247				0.35		40.0
	Metamorphic Rock	1.82		1.92	0.015			0.03	20.1	1.45		145.5	
			0.014			0.041	0.050				0.20		19.1

소, 질산성질소, 보론, 황산이온, 과망간산칼륨 소비량, 경도, 알루미늄 항목은 배경농도 비율이 55 ~ 122 %로 나타나며, 수문지질간의 배경농도 비율의 차이는 0 ~ 48 %로 나타났다. 반면, 수문지질별 수질자료 분포의 차이가 있는 것으로 나타난 항목인 비소, 망간, 아연, 탁도, 염소이온은 배경농도 비율이 25 ~ 301 %로 나타나며, 수문지질간의 배경농도 비율의 차이는 43 ~ 240 %으로 나타나 배경농도의 차이가 심한 것으로 판단된다. 수문지질별 배경농도 비율의 차이는 50 %를 기준으로 Mann-Whitney U test의 수문지질별 수질자료 분포 유사성 검토결과와 일치하는 것으로 나타났다.

각 수질항목별 먹는물 수질기준과 배경농도를 비교한 결과, 불소와 비소는 화성암에 대한 누적확률분포를 제외한 모든 분석방법별 배경농도가 먹는물 수질기준을 초과하며, 망간은 백분위수 분석결과에서 수질기준을 초과하고, 아연은 전체 자료에서 95분위수와 97.7분위수의 배경농도가 먹는물 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다.

불소는 일반적으로 각섬석류와 운모류와 같은 함수광물과 지하수의 반응에 의해 지하수에 함유되게 되며, 화강암, 편암 그리고 편마암 등의 심부 지하수에서 높은 함량을 보인다. 그리고 주로 화강암을 통하여 배출되는 지하수가 편마암에서 불소함량이 훨씬 높은 것으로 알려져 있다 (Lisa, 1994; Saxena et al., 2003). 본 연구지역은 화성암보다 변성암 분포지역의 지하수에서 불소의 함량이 높게 나타나는데 이는 지역에 따른 성분 함량의 차이로 판단되며, 배경농도가 먹는물 수질기준을 초과하는 것은 타 지역의 화강암류 및 편마암류 분포지역에서 불소항목이 먹는물 수질기준에 부적합한 경우가 많은 것으로 나오는 결과와 유사한 결과로 판단된다(Kim et al., 2007).

비소는 대부분 자연에서 기원되어 지하수에 함유되며, 주로 황철석, 황동석, 유비철석 등의

황화광물류의 산화가 일차적인 비소의 기원으로 알려져 있다(Chon et al., 2009; Kim et al., 2012).

배경농도 분석방법별 과정 및 결과값에 대하여 종합적으로 살펴보면, 박스플롯 및 백분위수 방법은 분석방법이 단순한 장점이 있으나 고농도 값의 분포 현황에 따라 배경농도 값에 차이가 발생하며, 누적확률분포 방법은 분석절차가 복잡하고 비전문가가 분석하기에 다소 어려운 점은 있으나 수질자료의 농도 분포가 충분히 고려되어 산정된 결과이므로 타 방법보다 합리적인 값을 얻을 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 연구지역의 수질항목별 배경농도는 누적확률분포를 통해 분석된 값을 적용하였으며, 수문지질별로 수질자료 분포의 유사성이 낮고 배경농도에 현저한 차이가 나타나는 비소, 망간, 아연, 탁도, 염소이온 항목은 수질조사 지점의 수문지질을 고려하여 배경농도를 각각 산정하였다(Table 5).

## 5. 결론

상수도 미보급 지역에 대하여 지하수 배경농도를 이용한 지하수 수질상태 평가 및 오염평가 기준을 마련하기 위하여 지하수 배경농도 산정 방법을 검토하고 연구지역의 배경농도를 제시하였다.

연구지역의 배경농도 산정방법 검토를 위하여 총 257개 지점의 암반관정에서 지하수 시료채취 및 수질분석을 실시하였다.

인위적 오염을 받은 수질자료를 제거하기 위하여 사전선별 기준을 적용한 결과 총 257개 수질자료 중 64개(24.9 %) 자료가 배경농도 산정에 이용되었다.

배경농도 산정방법별 배경농도 크기는 주로 박스플롯 > 90분위수 > 누적확률분포 순으로 나타났다. 누적확률분포에 의한 배경농도는 75 ~ 90분위수에 해당하였다.

배경농도 분석방법 중 박스플롯 및 백분위수 방법은 간단하고 단순한 장점이 있으나 고농도

값의 분포 현황에 따라 배경농도의 차이가 발생한다. 반면, 누적확률분포 방법은 분석절차가 복잡하나 수질자료의 농도 분포가 고려된 결과이므로 보다 합리적이고 과학적인 배경농도를 얻을 수 있는 것으로 사료된다.

수문지질별 지하수 수질의 분포양상이 차이 나는 경우에는 해당 지역의 수문지질을 고려하여 배경농도를 선정하는 것이 타당한 것으로 나타났다.

수질항목별 먹는물 수질기준과 배경농도를 비교한 결과, 불소와 비소는 화성암에 대한 누적확률분포를 제외한 모든 분석방법에서 배경농도가 먹는물 수질기준을 초과하고, 망간 및 아연은 일부 백분위수 분석결과에서 먹는물 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다.

추후 지하수 배경농도와 먹는물 수질기준을 이용하여 지역별 지하수 수질상태를 평가하는 방안이 추가로 연구되고 이를 통한 수질분포도가 작성된다면 상수도 미보급 지역에 대한 수질상태 현황 및 오염 여부 파악이 가능할 뿐만 아니라 지하수 이용 및 관리계획 및 수립 시 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

Auckland Regional Council (2001) *Background concentrations of inorganic elements in soils from the Auckland Regeion*, ARC Technical Publication 153, pp.19-24.

Begoña Urresti-Estala, Francisco Carrasco - Cantos, Inaki Vadillo - Perez, Pablo Jimenez - Gavilan (2013) Determination of background levels on water quality of groundwater bodies: A methodological proposal applied to a Mediterranean River basin(Guadalhorce River, Malaga, southern Spain), *J. Environ. Manag.*, **117**, pp.121-130.

Chon Chul-Min, Kim Kue-Yong, Koh Dong-Chon, Choi Mi-Jung (2009) Arsenic distribution and solubility in groundwater of Okcheon area, *J. Miner. Soc. Korea*, **22**(4), pp.331-342.

Chon Hyo-Taek (1991) *Rock Geochemistry in Mineral Exploration*, Kijeon publish, Seoul

Daniela Ducci, Mariangela Sellerino (2012) Natural background levels for some ions in groundwater of the Campania region(southern Italy), *Environ. earth Sci.*, **67**, pp.683-693.

Directive 2006/118/EC, Groundwater Daughter (2006) *Directive of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration*, OJ L372, 27 Dec 2006.

EC, 2006, Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration

Edmunds W.M., Shand P., Hart P., Ward R.S. (2003) The natural (baseline) quality of groundwater, a UK pilot study, *The Sci. Total Environ.*, **310**, pp.25-35.

Fadiran A.O., Mdlulie W.F., Simelane B.K. (2005) Analysis of Nitrates and Nitrites In Subsoil and Groundwater Sample in Swaziland, *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, **19**(1), pp.45-54.

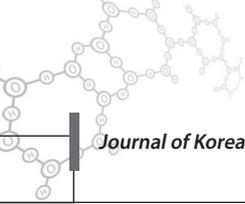
Ham Jung-Keun (2008) *Domestic natural background level analysis of groundwater nitrate concentrations using the cumulative probability plots*, Korea university the graduate school of education(a master's thesis), Seoul

Hyun Yun-Jung, Kim Yun-Sung, An Jeong-Yi, Lee Ju-Youn (2012) *Regulatory strategies for effective management of contaminated groundwater*, Korea Environment Institute, 2012-08, pp.72

Helsel, D.R., Hirsch, R.M. (2002) *Statistical methods in water resources*, *Techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey*, Book 4, Chapter A3, Hydrologic Analysis and Interpretation, pp.210.

Jasper Griffioen, Hilde F. Passier, Janneke Klein (2008) Comparison of selection methods to deduce natural background levels for groundwater units, *Environ. Sci. Technol.*

- 42, pp.4863-4869.
- Kang Pil-Chong, Kim Won-Young, Lee Chong-Hyock (1980) *Explanatory text of the geological map of the Jincheon sheet*, Korea research institute of geoscience and mineral resources, Seoul
- Kim Dong-Hak, Choi Wee-Chan, Chang Tae-Woo (1980) *Explanatory text of the geological map of the Pyeongtaeg sheet*, Korea research institute of geoscience and mineral resources, Seoul
- Kim Ji-Hoon, Cheong Tae-Jin, Ryu Jong-Sik, Kim Rak-Hyeon (2013) *Characteristics of Fe reduction process of shallow groundwater in a reclaimed area*, *Kim-je*, The Korea Society of Economic and Environmental Geology, **46**(1), pp.39~50
- Kim J.H., Kim R.H., Lee J., Cheong T.J., Yum B.W., Chan H.W. (2005) Multivariate statistical analysis to identify the major factors governing groundwater quality in the coastal area of Kimje, South Korea, *Hydrological Process*, **19**, pp.1261~1276.
- Kim J.H., Yum B.W., Kim R.H., Koh D.C., Cheong T.J., Lee J., Chang H.W. (2003) Application of Cluster analysis for the hydrogeochemical factors of saline groundwater in Kimje, Korea, *Geosciences Journal*, **7**(41), pp.313-322.
- Kim Jong-Tae, Park Sang-Joo, Kang Meea, Choo Chang-Oh, Jeong Gyo-Cheol (2007) Analysis on statistical relationship between groundwater quality and geology, *J. Engineering Geology*, **17**(3), pp.445-453.
- Kim Soo-Jin, Noh Jin-Hwan, Chang Sewon (1989) *Geological report of the Changhwon sheet*, Korea institute of energy and resources, Taejon
- Kim Y.J., Lee S.M., Won J.S., Lee S.B. (2001) A study on Designation and Management of Groundwater Conservation area using Groundwater Classification Map, *J. Soil & Groundwater Environ.*, **6**(4), pp.97-112.
- Lee Sang-Man, Kim Hyung-Shik, Song Yong-Seon (1989) *Geological report of the Ansöng sheet*, Korea institute of energy and resources, Taejon
- Lisa, S. B. (1994) Factors influencing fluoride concentration in Norwegian lakes, *Water, Air, Soil Pollut.*, **77**, pp.151-167.
- ME (Ministry of environment) (2012) *Environmental standard methods for drinking water*
- ME (Ministry of Environment) (2013) *Alternatives for drinking water supply system in rural and costal area(13~17)*
- MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) (2011) *Groundwater annual report*
- Müller, D., Blum, A., Hart, A., Hookey, J., Kunkel, R., Scheidleder, A., Tomlin, C., Wendland, F., (2006) *Final proposal for a methodology to set up groundwater threshold values in Europe*. In: *Report to the EU project "BRIDGE" 2006, Deliverable D18*. <http://www.wfd-bridge.net>
- NGII (National geographic information institute) (2009) *Land use map*
- NAVFAC (2003) *Guidance for environmental background analysis Vol. III: Groundwater*, Naval facilities engineering command, US
- Nieto P., Custodio E., Manzano M. (2005) Baseline groundwater quality: a European approach, *Environ. Sci. Policy*, **8**, pp.399-409.
- Oh In-Seob, Park Suk-Hwan (1973) *Explanatory text of the geological map of O San sheet*, Geological and mineral institute of Korea, Seoul
- Panno S.V., Kelly W.R., Martinsek A.T., Hackley K.C. (2006) Estimating background and threshold nitrate concentrations using probability graphs, *Ground Water*, **44**(5) pp.697-709.
- Reimann C., Garrett R.G. (2005) Geochemical background: concept and reality, *Sci. Total Environ.*, **350**, pp.12-27.
- Runnells D.D. (1998) Investigations of natural background geochemistry—scientific, regulatory, and engineering issues, *GSA Today*, **8**(3), pp.10-11.
- Salminen R., Tarvainen T. (1997) The problem of defining geochemical baselines: a study of



- selected elements and geological materials in Finland, *J. Geochem. Explor.*, **60**, pp.91-98.
- Saxena, V. X., Ahmed, S. (2003) Inferring the chemical parameters for the dissolution of fluoride in groundwater, *Environ. Geology*, **43**, pp.731-736.
- Shand P., Edmunds W.M., Lawrence A.R., Smedley P.L., Burke S. (2007) *The natural (baseline) quality of groundwater in England and Wales*, British geological survey, Research report, RR/07/06, pp.7-9.
- Wendland F., Berthold G., Blumc, Elsassc P., Fritscheb J.-G., Kunkel R., Wolter R. (2008). Derivation of natural background levels and threshold values for groundwater bodies in the Upper Rhine Valley(France, Switzerland and Germany), *Desalination*, 226(1-3), pp.160-168.
- Yoon H.S., Bae G.O., Lee K.K. (2012) Quantification and Evaluation of Groundwater Quality Grade by Using Statistical Approaches, *J. Soil & Groundwater Environ.*, **17**(1), pp.22-32.