

## 다변량 통계분석을 이용한 부산지역 지하수 수질측정망의 수질 특성

지화성<sup>†</sup> · 조갑제 · 정경원 · 김주인 · 이경심  
수질분석과

### Characteristics of Groundwater Quality from Groundwater Monitoring Network in Busan using Multivariate Statistical Analysis

Ji Hwa-seong<sup>†</sup>, Cho Gab-je, Jung Kyung-won, Kim Chu-in and Lee Kyung-sim

Water Analysis Division

#### Abstracts

We used multivariate statistical analysis with groundwater monitoring network data to examine the factors affecting groundwater quality, the spatial distribution of groundwater and trends of changes in major pollutants. Groundwater was sampled and analyzed biannually from 80 monitoring points located in the general region in Busan.

The average concentrations of NO<sub>3</sub>-N and Cl<sup>-</sup> are above the groundwater quality standard at 9 monitoring points and the average concentrations of Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> were higher than in the other regions.

There weren't particular characteristics of groundwater with rock type because we couldn't find the significant correlation between geology and groundwater quality. As a result of factor analysis, The first factor was sea water, The second factor were sea water and pollutants of urban area and the third factor was fluoride. As a result of cluster analysis with factor score, this study area was classified 3 groups. Group A were fresh groundwater and Group B have been a little affected by sea water or pollutants such as municipal sewage and waste. Group C have been strongly affected by sea water or pollutants.

According to linear regression analysis about NO<sub>3</sub>-N and Cl<sup>-</sup>, It showed upward trend of NO<sub>3</sub>-N at 9 monitoring points and upward trend Cl<sup>-</sup> at 14 monitoring points.

In this study area, groundwater quality is good in most area. but It has been affected by seawater and pollutants such as municipal sewage and waste in coastal area and densely populated area. It is necessary to monitor variational trend of pollutants and sources in the areas with a possibility of pollution continuously.

**Key words** : Groundwater monitoring network, Multivariate statistical analysis

## 서론

우리나라의 지하수는 지형적 특성상 주로 한강, 낙동강 등을 비롯한 대규모 하천 연안에 넓게 분포하고 있으며, 전국의 지하수 사용시설은 2011년 말

기준으로 약 1,447천 개소(공)이며 지하수 이용량은 연간 3,907백만m<sup>3</sup>에 이르고 있다. 2001년 전국의 지하수 이용량이 3,210백만m<sup>3</sup>이었던 것에 비하면 10년사이 21.7 % 증가한 수치이다. 이 중에 부산지역에는 8,079개소의 지하수공이 있으며 음

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail : hs121@korea.kr  
Tel : +82-51-309-2931, Fax : 82-51-309-2739

용수, 생활용수, 공업용수 및 농업용수 등으로 연간 36,370천 $m^3$ 의 지하수를 사용하고 있다<sup>1)</sup>.

지하수의 수질은 토지의 이용특성, 개발이용현황, 산업화 및 도시화로 인한 오염원의 종류 등에 따라 다양하게 나타나고, 인위적인 기원뿐만 아니라, 기후, 토양, 지질, 지하수의 흐름 등에 따른 자연적인 기원들도 지하수의 수질에 영향을 미친다.

지하수의 오염은 지하수의 유동 및 지질특성에 따라 오염의 확산과정이 다를 뿐만 아니라 오염을 인지하기가 쉽지 않고, 오염이 인지되었을 경우에는 오염 진행이 상당히 이루어진 경우가 많다. 따라서 지하수 오염을 사전에 감지하고, 여러 가지 유형의 요인에 따른 수질 현황과 추세를 정기적으로 파악하고 관리하는 것이 중요하다. 국내에는 지하수의 수질오염을 예방하고 수질을 보전하기 위하여 지하수법 제18조제2항(수질오염의 측정) 및 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 제9조(수질측정망 설치 및 수질오염실태 측정 계획의 수립·고시)에 의하여 전국에 지하수 수질측정망이 설치되어 운영되고 있다. 수질측정망에는 우리나라 지질과 유역을 고려한 지하수 수질현황 및 특성을 파악하고, 산업단지 등 대규모 오염원으로부터 지하수 오염과 확산을 지속적으로 감시하기 위한 국가지하수 수질측정망과 지방자치단체 관할 지역 내의 지하수 오염을 감시하고 수질을 파악하기 위한 지역지하수 수질측정망이 있다<sup>2)</sup>. 지역지하수 수질측정망은 2013년 현재 전국의 오염우려지역 781개소와 일반지역 1,240개소로 운영되고 있다. 오염우려지역은 산업단지, 매립지, 폐광산지역 등 오염원과 그 주변에 설치된 관정을 선정하여 각 지역 유역환경청에서 관리하고 있으며, 그에 비해 상대적으로 오염원이 작은 일반지역은 해당 지방자치단체에서 관리하고 있다.

현재 부산에는 낙동강유역환경청에서 관리하고 있는 오염우려지역 42개 지점과 부산의 16개 구·군에서 관리하고 있는 일반지역 80개 지점이 운영

되고 있다. 부산지역은 지리적으로 해안가에 위치하고 있고 내륙에서 해양까지 연장되는 단층대가 잘 발달하고 있어 내륙 깊은 곳까지 해수유입의 영향을 받을 가능성이 높으며, 산업화와 대도시화에 따른 폐기물, 생활하수 시설 등의 외부 오염원에 의한 오염 개연성이 크므로 지역에 따른 오염현황과 오염원에 대한 파악이 중요하다<sup>3)</sup>.

그 동안 전국의 지하수 수질측정망 자료를 활용하여 김규범 등(2010)은 국내 오염우려지역의 지하수 수질 추세 특성을 연구하였고,<sup>4)</sup> 박준홍 등(2011)은 통계적 분석을 통해 오염우려지역 지하수의 시간적 오염도 추이변화를 분석 연구하였다<sup>5)</sup>. 이순진 등(2006년)은 대구지역의 지하수 수질측정망에 대한 수질특성을 연구하였고,<sup>6)</sup> 김재광 등(2007년)은 경기북부지역 지하수 수질측정망에 대한 수질특성을 연구한 바 있다<sup>7)</sup>. 그러나 부산지역 지하수 수질측정망을 이용하여 지하수의 수질특성과 시간에 따른 수질변동 추세에 관한 연구는 미미하였다.

지하수 수질의 오염특성과 오염원의 인과관계와 수질의 추세변화를 분석하기 위해서는 정밀한 조사와 다양한 분석 기법이 필요하나, 본 연구에서는 부산의 일반지역 지하수 수질측정망의 수질 분석 자료를 바탕으로 다변량 통계분석(Multivariate statistical analysis)을 이용하여 부산지역 지하수 수질의 광역적인 오염특성과 지하수 수질에 영향을 미치는 요인들을 파악하고자 하였다. 또한 수질특성이 유사한 지점들을 분류하여 지하수의 지역적인 분포특성과 시간 경과에 따른 주요 오염물질의 변동 추세를 규명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 연구지역 및 대상

본 연구에서는 각 구·군에서 관리하고 있는 일반지역 지하수 수질측정망 80개 지점을 연구대

상으로 하였으며, 각 지점의 위치를 Fig. 1에 나타내었다. 80개 지점은 각 구·군에 5개 지점씩 지정되어 있으며, 토지이용용도는 주거지역 47개 지점, 녹지지역 17개 지점, 상업지역 16개 지점으로 상대적으로 오염원이 작은 일반지역이다.

### 수질분석 및 수집

지역 지하수 수질측정망의 수질은 해당 지점 지하수의 이용용도 및 음용여부와 관계없이 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 제11조 「별표4」에 따른 생활용수 19개 항목과 전기전도도를 매년 상반기, 하반기로 나누어 연2회 분석하고 있다.



Fig. 1. Location map of the study area.

분석 항목 중에서 중금속 및 휘발성 유기화합물 등의 물질들은 대부분 지점에서 불검출로 나타나 전반적인 수질 현황을 파악하기에 적절하지 않았으므로 본 연구에서 제외하였으며, 모든 지점에서 검출되고 일반적인 오염과 수질특성을 나타내는 수소이온농도(pH), 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 염소이온( $\text{Cl}^-$ ), 전기전도도(EC)를 연구대상항목으로 선정하였다. 또한, 자연적인 기원에 따른 지하수의 특성을 파악하기 위하여 불소이온( $\text{F}^-$ ), 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 칼슘( $\text{Ca}^{2+}$ ), 마그네슘( $\text{Mg}^{2+}$ ), 칼륨( $\text{K}^+$ ), 나트륨( $\text{Na}^+$ )을 분석하였다.

시간에 따른 지하수 수질의 변동 추세를 알아보기 위하여 2004년부터 2013년까지 10년 동안 부산 보건환경연구원에서 분석한 결과를 수집하여 사용하였고, 오염우려지역 및 전국의 지하수 수질측정망 수질 분석결과는 환경부 토양지하수정보시스템인 SGIS(<http://sgis.nier.go.kr>)에서 공개하고 있는 결과를 수집하여 사용하였다.

분석항목 및 수질기준, 분석방법은 Table 1과 같다.

### 다변량 통계분석

부산지역 지하수의 수질 특성을 평가하기 위하여 분산분석(Analysis of variance), 상관분석(Correlation analysis), 요인분석(factor analysis), 군집

Table 1. Analytical methods, instruments and standards for Groundwater quality

Compounds	Groundwater quality standards		Method and Instrument
	Drinking water	Water of living	
pH	5.8 - 8.5	5.8 - 8.5	pH meter(Mettler Seveneasy)
EC	-	-	EC meter(Istek EC-40N)
$\text{NO}_3\text{-N}$	10 mg/L	20 mg/L	
$\text{Cl}^-$	250 mg/L	250 mg/L	Ion Chromatograph (Dionex ICS3000)
$\text{SO}_4^{2-}$	200 mg/L	-	
$\text{F}^-$	1.5 mg/L	-	
$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$	-	-	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry(Agilent 7500)

분석(cluster analysis), 선형회귀분석(Linear regression analysis) 등 다변량 통계분석을 수행하였으며, SPSS(Statistical Package for Social Sciences) 프로그램을 사용하였다.

### 1) 분산분석(Analysis of variance)

분산분석은 여러 집단의 평균의 차이가 있는지를 분석하는 방법으로 집단간의 평균 차이는 항상 있을 수 있으나 이를 분산이라는 척도로 제어 보았을 때 의미 있는 차이로 받아들일 수가 있는가를 결정하는 것이다. 자료로부터 구한 각 집단 간 분산과 집단 내 분산의 비인 F값을 이용하여 분석하는 방법이다. 분석결과 각 집단의 평균이 모두 동일하지 않다는 결론이 나면 다중비교(Multiple Comparison)기법인 Turkey, Duncan, Dunnett 등의 방법을 이용해서 어떤 집단간에 차이가 있는 지 검정하게 된다.

### 2) 상관분석(Correlation Analysis)

상관분석은 각 자료(변수)들간의 관계성을 파악하는 것이다. 변수의 관계성 정도는 상관계수(Correlation coefficient: r)로 표시되는데 이것은 두 변수사이의 관계성 정도뿐만 아니라 방향도 함께 설명한다. r은 -1.0에서 +1.0까지의 범위를 가지며, 값이 크다는 것은 강한 관계성을 가지고 있다는 의미이고, (+)값은 양의 상관관계 (-)값은 음의 상관관계를 나타낸다.

### 3) 요인분석(Factor Analysis)

요인분석은 여러 자료(변수)들 사이의 상관관계를 기초로 하여 정보의 손실을 최소화하면서 최초 자료의 개수보다 적은 수의 요인(factor)으로 자료를 변동하여 설명하는 다변량 기법이다. 요인추출 모형으로는 PCA(Principle Component Analysis)를 사용하였으며 자료의 총분산을 분석하여 고유치

(eigenvalues)를 얻어낸다. 고유치(eigenvalue)는 요인이 설명할 수 있는 변수들의 분산 크기를 나타내며 고유치가 1보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명해 준다는 것을 의미한다. 따라서 고유치 값이 1 이상인 경우를 기준으로 해서 요인수를 결정하게 된다. 분석 자료에 대한 요인분석 적합성을 평가하기 위하여 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin) 측정과 바틀렛의 구상형 검증(Bartlett's test of sphericity)을 수행한다. KMO 값은 대상표본의 적합도를 나타내는 값으로 0.5이상이면 요인분석에 적합하다고 판단하며 바틀렛의 구상형 검증은 자료들의 상관행렬 여부를 판단하는 검정방법이다. 각 요인의 요인부하량(Factor loading)의 분산(Variance)을 최대화하기 위하여 주로 베리맥스 직각회전방식(Varimax orthogonal rotation)을 이용한다.

### 4) 군집분석(Cluster Analysis)

군집분석은 다양한 특성을 지닌 연구대상들을 자료(변수)들 간의 유사성을 바탕으로 그 자료들이 얼마나 비슷한 값을 가지고 있는지를 거리로 환산하여 거리가 가까운 대상들을 동질적인 집단으로 분류하는데 쓰이는 기법이다. 이번 연구에서는 군집형성에 있어서 일반적으로 사용하고 정보의 손실량이 최소가 되도록 하는 Ward's method를 사용하였다. 이 방법은 대상 자료들의 유사성을 거리(distance)로 환산하기 위하여 모든 변수의 차이를 제공하여 합산해서 결정하는 유클리디안 제곱거리(Euclidean distance)를 이용하며, 거리가 가까울수록 유사성이 높으며 그 결과를 수형도(Tree dendrogram)로 작성하여 지점을 유형화한다.

### 5) 선형회귀분석(Linear regression analysis)

선형회귀분석은 선형추세분석(Linear trend analysis)이라고도 하며 어떤 자료가단조증가 혹은 단

조감소 하는지에 대한 경향성을 판단하는데 사용한다. 여기서 경향성의 판단은 가장 기초적인 접근방법인 최소자승법(least square)을 사용하는 것으로 분석 자료를 적절한 직선식(linear equation)에 부합시켜 그 기울기로 판단할 수 있다. 선형회귀직선과의 부합 정도는 결정계수(Coefficient of determination,  $R^2$ )로 나타낼 수 있으며, 총변동값을 회귀선에 의해 설명되는 값으로 나눈 값이다. 결정계수가 1에 가깝거나 큰 값이 나올수록 회귀직선에 의해 분석값을 잘 설명할 수 있는 것으로 해석된다. 다만, 결정계수는 관심인자의 변동이 얼마나 선형에 가까운지를 나타내는 것이지 증가 혹은 감소(양과 음의 기울기) 경향의 신뢰도를 나타내지는 않는다.

## 결과 및 고찰

### 지하수 수질측정망의 수질 현황

2013년 연2회 80개 지점에 대하여 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 지하수의 수질기준과 비교해보면 수소이온농도(pH), 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 불소

(F)는 모든 지점에서 음용수 수질기준 이내였으며, 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 최대농도가 19.4 mg/L으로 음용수 수질기준(10 mg/L)을 초과하는 지점이 6개소 있으나, 생활용수 수질기준(20 mg/L)에는 모두 적합하였다. 염소이온( $\text{Cl}^-$ )은 최대농도가 563.5 mg/L로 3개 지점에서 수질기준(250 mg/L)를 초과하였으나 대부분 지점에서 수질기준 이내였다.

칼슘( $\text{Ca}^{2+}$ )은 0.74 - 171.10 mg/L, 마그네슘( $\text{Mg}^{2+}$ )은 0.35 - 56.02 mg/L, 칼륨( $\text{K}^+$ )은 0.08 - 20.45 mg/L 그리고 나트륨( $\text{Na}^+$ )은 10.55 - 157.90 mg/L의 함량을 나타내었다.

국내의 여러 선행연구에 의하면 지하수의 주 양이온에 해당하는 이들 물질은 국내 지하수에서 주로  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 의 함량 순위를 나타내었으며,<sup>8,9)</sup> 본 연구에서 부산지역 지하수 역시  $\text{Ca}^{2+}$ (36.79 mg/L) >  $\text{Na}^+$ (32.29 mg/L) >  $\text{Mg}^{2+}$ (11.40 mg/L) >  $\text{K}^+$ (2.37 mg/L)의 함량 분포를 가지는 것으로 나타났다.

전국의 일반지역과 오염우려지역 그리고 부산의 오염우려지역 수질측정망 수질과 비교하기 위하여 환경부 토양지하수정보시스템에서 현재 공개하고

**Table 2.** Statistic concentrations of groundwater quality data in Busan(2013)

Components	Groundwater quality standards		Values			Number of sites over the standards	
	Drinking water	Water of living	Min.	Max.	Avg.	Drinking water	Water of living
pH	5.8 - 8.5	5.8 - 8.5	6.0	8.5	7.5	0	0
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	10	20	0.0	<b>19.4</b>	4.3	<b>6</b>	0
$\text{Cl}^-$ (mg/L)	250	250	5.6	<b>563.5</b>	52.0	<b>3</b>	<b>3</b>
$\text{F}^-$ (mg/L)	1.5	-	0.00	1.37	0.12	0	-
$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	200	-	0.00	147.00	37.34	0	-
$\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)	-	-	0.74	171.10	36.79	-	-
$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	-	-	0.35	56.02	11.40	-	-
$\text{K}^+$ (mg/L)	-	-	0.08	20.45	2.37	-	-
$\text{Na}^+$ (mg/L)	-	-	10.55	157.90	32.29	-	-
EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	-	-	55	1376	400	-	-

있는 가장 최근자료인 2011년 분석결과를 검토하였다. 비교대상은 검사항목이 일치하고 모든 지점에서 검출되어 비교가 용이한 수소이온농도(pH), 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N), 염소이온(Cl<sup>-</sup>), 전기전도도(EC)로 하였으며, 지역에 따라 분석된 지하수 수질물질의 농도가 통계적으로 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 일원배치분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다. 또한, 비교지역에 따른 수질 항목별 분포도를 Fig. 2에 상자 도표로 나타내었다.

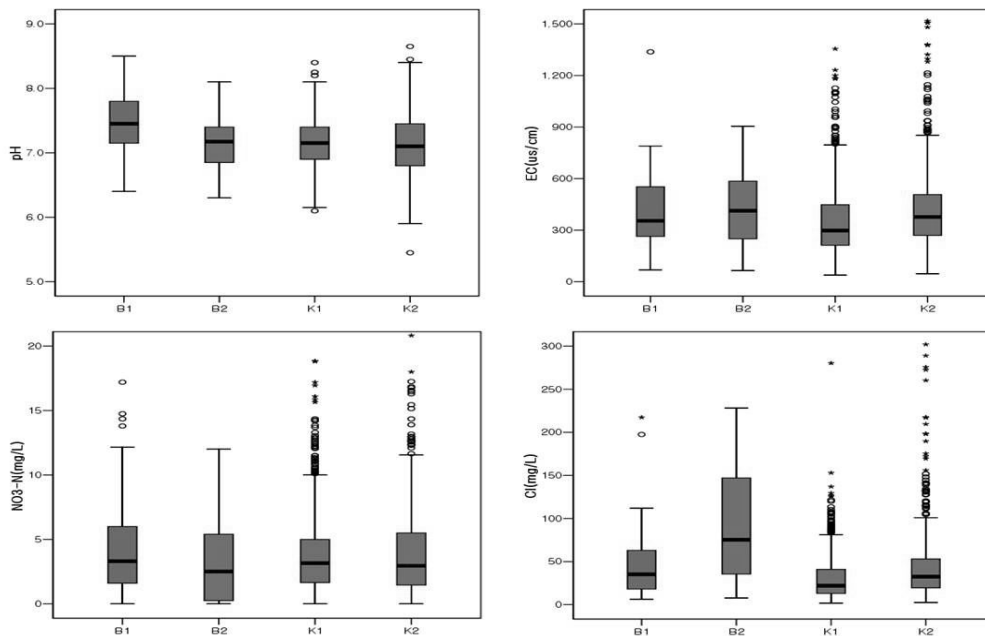
부산의 일반지역 평균 수소이온농도(pH)는 부산 지역 오염우려지역 및 전국의 지하수에 비해 높은 것으로 나타났으며 분산분석결과 통계적으로도 유의한 차이인 것을 알 수 있었다. 김규범 등(2010)에 의한 국내 지하수 수질추세 특성연구에서도 도시주거지역의 수소이온농도가 공단지역, 일반폐기물매립지역, 저장탱크지역 등 오염우려지역의 수소이온농도보다 다소 높은 특성을 보인다고 연구한 바 있다.

질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)의 평균농도는 부산의 일반

**Table 3.** The result of ANOVA for major water components by region

Compounds	Average of concentrations				F	p
	B1	B2	K1	K2		
pH	7.5	7.2	7.2	7.1	10.18	0.000
NO <sub>3</sub> -N(mg/L)	4.3	3.4	3.8	4.0	1.16	0.329
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	52.0	106.0	31.6	54.4	11.76	0.000
EC(μs/cm)	400	500	356	444	7.87	0.075

(p < 0.05)



B1 : General region in Busan, B2 : Countermeasure region in Busan  
 K1 : General region in the whole country, K2 : Countermeasure region in the whole country

**Fig. 2.** Box plots for pH, NO<sub>3</sub>-N, Cl<sup>-</sup> and EC by the region.

지역 농도가 오염우려지역 및 전국의 지하수보다 다소 높은 것으로 보이나, 분산분석결과 그 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 일반적으로 질산성질소는 단백질과 같은 질소화합물이 부패, 발효, 산화 등의 과정을 거쳐 생성되는 물질로서 대도시지역이나 공단지역, 농업지역 등의 구분 없이 무기비료, 생활하수, 부패한 동식물, 공장 폐수 등 오염원이 매우 다양하므로 그 원인을 파악하기란 쉽지가 않다. 일반지역 지점들이 대부분 주거지역에 위치해 있으므로 대도시지역에 의한 생활하수나 폐기물, 자동차 배기가스 등이 질산성질소의 농도에 영향을 주는 것으로 추정된다.

염소이온(Cl)의 평균농도는 부산지역 내에서는 일반지역의 농도가 오염우려지역보다 낮았고, 전국의 일반지역보다는 높았으며, 이 결과는 통계적으로도 유의하였다. 염소이온은 주로 생활하수, 가정하수 등을 통하여 발생되어 주로 대도시화된 지역의 특성을 보여줄 뿐만 아니라 바다에 인접하여 있는 지리적 특성에 따라 해수 유입에 의한 영향을 나타내기도 한다.

전기전도도(EC)는 지하수내에 용해된 이온물질에 의하여 변화하는 것으로 오염을 나타내는 간접적인 인자로 활용되고 있다. 이번 연구에서는 부산

과 전국의 평균 전기전도도 값의 차이는 통계적으로 유의하지 않았으며 이는 특정지점의 편중된 값으로 평균이 편중되고, 지점별 편차가 크기 때문인 것으로 판단된다.

자연 상태의 지하수의 용존 성분 중에서 주 양이온인 칼슘(Ca<sup>2+</sup>), 마그네슘(Mg<sup>2+</sup>), 칼륨(K<sup>+</sup>), 나트륨(Na<sup>+</sup>)은 대수층을 구성하는 광물의 용해도와 성분비 및 거동특성에 의해 조절된다. 광물의 조성은 비교적 짧은 거리에서도 상당히 달라질 수 있어서 지하수의 수질 특성은 국부적인 지역 내에서도 매우 다양하게 나타날 수 있다. 국내 타 지역을 대상으로 지하수 중에 함유된 미네랄 성분을 조사한 그동안의 선행 연구에서도 계절이나 지역마다 그 함량은 서로 상이하였다.

Fig. 3에는 본 연구에서 조사된 부산지역 양이온들의 평균 함량과 국내 선행 연구결과에서 조사되었던 타 지역의 지하수중 양이온 평균 함량을 비교하여 나타내었다. A는 국내 화강암질내 심부지하수<sup>9)</sup>, B는 경기도 가평지역 지하수<sup>10)</sup>, C는 충남지역 지하수<sup>11)</sup> 그리고 D는 광주광역시 지하수<sup>12)</sup> 중의 양이온들의 평균 함량으로 부산지역의 양이온 함량이 타 지역에 비해 높은 것을 알 수 있었다. 이 양이온들은 해당 지역의 지질에 따른 특징을 나타내

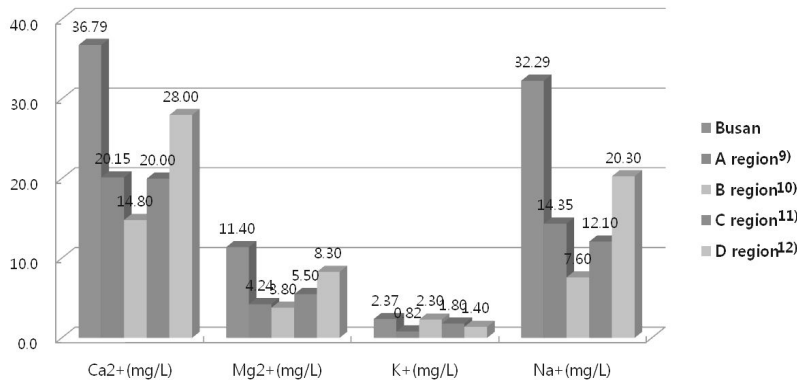


Fig. 3. Comparison of mineral contents between in Busan and the other region.

지만 바닷물의 주요 성분이기도 하므로 부산지역처럼 해안에 인접한 지역의 지하수에서 양이온들의 함량이 높은 것은 지하로 침투한 해수의 영향인 것으로 판단된다.

**지질과 지하수**

지하수는 지하의 지층이나 암석 사이의 빈틈을 채우고 있거나 흐르는 물이므로 지질을 매체로 하여 주변 지질 환경의 특성에 영향을 받게 된다. 부산 지역을 구성하는 암류(Constituent rocks)의 지질시대는 모두 3개로서 제4기(Quaternary) 47.02 %, 백악기(Cretaceous) 41.01 % 및 제3기(Tertiary) 6.73 %의 순으로 분포하고 있다. 구성 암층(Rock type)은 모두 10개이나 충적층(Qa) 47.02 %, 안산암 및 안산암질 응회암(Kat) 16.77 %, 유문암 및 유문암질 응회암(Krt) 13.85 %, 화강암(Tgr) 6.73 %, 각섬석화강암(Khgr) 5.19 %, 다대포층(Kdd) 4.07 % 등 6개 암층이 면적의 98.63 %에 분포하여 거의 대부분을 차지한다. 이중 가장 뚜렷하게 우세한 충적층은 낙동강 하류부, 서낙동강 그리고 수영강 일대에 분포하고 있다<sup>13)</sup>. 부산지역을 구성하는 암층의 분포비율과 이번 연구에서의 각 암층별 지점수를

Table 4에 나타내었다.

이번 연구에서는 구성 암층별로 분류된 지점수가 작고 편차가 심해서 통계적으로 비교가 불가능하다고 판단되어 안산암 및 안산암질 응회암, 유문암 및 유문암질 응회암, 화강암, 각섬석화강암, 다대포층 등의 암반층(Bedrock)과 충적층(Alluvium)으로 구분하여 수질 항목들의 평균농도 차이와 그 상관성을 알아보았다.

Table 5에는 암반층과 충적층의 수질 항목별 평균농도를 비교하기 위하여 실시한 T-test 결과를 나타내었으며, 모든 수질 항목들의 평균농도 차이는 통계적으로 유의하지 않았다.

그리고 암반층과 충적층으로 구분하여 수질 항목들에 대한 상관분석(Correlation Analysis)을 실시한 결과 수질 항목들이 지질의 특성을 나타낼 수 있는 뚜렷한 차이점이 나타나지 않았으며, 상관성이 유의한 결과를 Table 6에 나타내었다.

암반층(Bedrock) 지역에서는 지하수의 주요 양이온인 칼슘(Ca<sup>2+</sup>), 마그네슘(Mg<sup>2+</sup>), 칼륨(K<sup>+</sup>), 나트륨(Na<sup>+</sup>) 상호간에 높은 상관성(0.487 - 0.888)을 갖고 있다. 또한, 이 양이온들은 염소이온(Cl<sup>-</sup>), 황산이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)과 높은 상관성(0.414 - 0.912)을 나타내

**Table 4.** Distribution ratio of the constituent rocks by geologic age and rock type in Busan

Geologic age	Classification	Division	Rock type	Abbreviation	Area ratio	Number of sampling site(n=80)	
Creta	Gyeongsang supergroup	Yucheon group	Andesite & andesitic tuff	Kat	16.8	14	
			Jeonggagsan fm	Kjk	0.27	0	
			Dadaepo fm	Kdd	4.07	1	
			Rhyolite & rhyolitic tuff	Krt	13.85	5	
	Bulgugsa intrusives		Hornblende granite	Khgr	5.19	4	
			Biotite granite	Kbgr	0.63	4	
			Intermediate dyke	Kid	0.02	0	
			Acidic dyke	Kad	0.21	0	
	Ter			Granite	Tgr	6.73	1
	Quater			Alluvium	Qa	47.02	51

Creta : Cretaceous, Ter : Tertiary, Quater : Quaternary



**Table 5.** The results of T-test for Bedrock and Alluvium

Rock type	Average of concentration									
	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{Cl}^-$ (mg/L)	$\text{F}^-$ (mg/L)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	$\text{Na}^+$ (mg/L)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	$\text{K}^+$ (mg/L)	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)
Bedrock(n=29)	7.5	417	4.9	52.9	0.10	41	36.29	11.52	2.93	35.91
Alluvium(n=51)	7.4	364	3.5	46.7	0.16	30	27.32	11.19	1.84	37.48
F	1.345	0.003	0.956	1.408	2.896	0.372	1.828	0.062	2.594	2.153
p	0.250	0.955	0.331	0.239	0.093	0.544	0.180	0.804	0.111	0.146

(\*  $p < 0.05$ )

**Table 6.** Correlation coefficients among water components for Bedrock and Alluvium

Variable		$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$
Bedrock (n=29)	$\text{Cl}^-$			0.912**	0.810**	0.669**	0.777**
	$\text{SO}_4^{2-}$				0.414*		0.475**
	$\text{Na}^+$				0.778**	0.760**	0.701**
	$\text{Mg}^{2+}$					0.487**	0.888**
Alluvium (n=51)	$\text{NO}_3\text{-N}$	0.367**			0.391**	0.365**	
	$\text{Cl}^-$		0.554**	0.372**	0.493**		0.630**
	$\text{F}^-$		0.333*				0.276*
	$\text{SO}_4^{2-}$			0.385**	0.335*		0.697**
	$\text{Na}^+$					0.446**	
	$\text{Mg}^{2+}$						0.578**

\*Correlation is significant at the 0.05 level

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level

었다. 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ )은 주로 지질에서 기원하는 물질이고, 염소이온( $\text{Cl}^-$ )은 생활하수, 공장폐수 등에 배출되는 오염물질이기도 하지만 염소이온( $\text{Cl}^-$ )과 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ )은 해수의 주요 성분으로 해수 유입의 영향을 나타내는 물질이기도 하다.

충적층(Alluvium) 지역에서도 암반층(Bedrock) 지역과 유사한 상관성이 나타났다. 양이온인 칼슘( $\text{Ca}^{2+}$ ), 마그네슘( $\text{Mg}^{2+}$ ), 칼륨( $\text{K}^+$ ), 나트륨( $\text{Na}^+$ ) 상호간에 유의한 상관성(0.446 - 0.578)을 갖으며, 이 양이온 들은 염소이온( $\text{Cl}^-$ ), 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ )과 보통의 상관성(0.335 - 0.697)을 갖는다. 그리고 염소이온( $\text{Cl}^-$ )과 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 상호간에도 유의한 상관성(0.554)을 나타내었다. 그 외에 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )가 염소이온( $\text{Cl}^-$ ), 마그네슘( $\text{Mg}^{2+}$ ), 칼륨( $\text{K}^+$ )들과 유

의한 상관성(0.365 - 0.391)을 가지고, 불소(F)는 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 칼슘( $\text{Ca}^{2+}$ )와 유의한 상관성(0.276 - 0.333)을 갖는다. 이 지역은 부산 전체 면적의 47%로 넓게 분포하고 이번 연구의 대상지점중 51개소로 가장 많이 분포하고 있으므로 지점에 따라서 해수의 영향과 대도시지역의 대표적인 수질오염물질인 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 그리고 화강암, 화산암, 충적층 지대 지하수에서 많이 함유되어 있는 불소(F)의 상관성이 모두 나타나고 있는 것으로 판단된다.

#### 지하수 수질에 영향을 미치는 요인

이번 연구대상 지역의 지하수 수질에 영향을 미치는 요인을 규명하기 위하여 요인분석(Factor

Analysis)을 실시하였다. 분석 자료의 요인분석 적 합성을 평가하기 위한 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin) 측정값은 0.62이고, 바틀렛의 구상형 검증(Bartlett's test of sphericity)에 의해 지하수 수질 자료들은 상관행렬을 형성하고 있는 것으로 나타났으므로 본 연구의 지하수 수질 자료들은 요인분석에 적합 하였다.

요인분석의 요인추출방식은 주성분 분석(Principle Component Analysis)을 사용하였고 고유값(eigenvalue)이 1.0이상 되는 요인만을 선택하였으며, 여기서 요인부하량은 각 변수와 요인간의 상관관계의 정도를 말하며 특정 지화학적 작용에 공통적으로 상호 연계되었을 가능성을 나타낸다. 요인 추출결과 주요한 3개의 요인이 결정되었고 누적 기여율은 총 67.9 %로써 이 3개의 요인으로 연구대상지역 지하수 수질의 67.9 %를 설명할 수 있다는 것을 의미한다.

Table 7에 의하면 지하수 수질에 제일 큰 영향을 미치는 제1요인 성분은 염소이온(Cl<sup>-</sup>), 전기전도도(EC), 황산이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 마그네슘(Mg<sup>2+</sup>), 칼슘(Ca<sup>2+</sup>)으로 주변 지질과 물과 암석과의 반응, 해수의 영향

등 복합적인 원인에 의해 함량이 결정되는 성분들로 보이고, 제2요인 성분은 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N), 나트륨(Na<sup>+</sup>), 칼륨(K<sup>+</sup>)으로 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)와 칼륨(K<sup>+</sup>)은 지표로부터 유입되는 대표적인 인위적 오염물질이다. 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)는 생활하수, 오폐수 등으로부터 생겨나는 유기질 질소가 원인인 것으로 알려져 있으며 칼륨(K<sup>+</sup>)은 비료나 폐기물, 해수의 침투로 그 농도가 높아지는 것으로 보고 있다. 나트륨(Na<sup>+</sup>)과 칼륨(K<sup>+</sup>)은 해수의 주성분이기도 하므로 대도시 지역의 인위적 오염원과 해수의 영향을 복합적으로 지시한다. 제3요인 성분은 수소이온농도(pH), 불소(F<sup>-</sup>)인 것으로 나타났으며 우리나라 화강암, 화산암, 충적층지대 지하수에 자연적으로 많이 함유하고 있는 자연발생물질인 것으로 해석된다.

### 지하수 수질의 분포 특성

요인분석 결과 추출된 3개의 주요인에 의해 지점별로 새로운 변수인 요인 점수(Factor score)가 결정되었고, 이 요인 점수를 이용하여 군집분석(Cluster analysis)을 실시하였다. 요인 점수는 그 요인

**Table 7.** Rotated factor matrix for groundwater quality variables by factor analysis

Compounds	Factor 1	Factor 2	Factor 3
pH	-0.043	-0.015	<b>0.628</b>
NO <sub>3</sub> -N	0.040	<b>0.529</b>	-0.464
Cl <sup>-</sup>	<b>0.784</b>	0.287	-0.119
EC	<b>0.912</b>	0.258	-0.036
F <sup>-</sup>	-0.062	-0.015	<b>0.778</b>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<b>0.634</b>	0.243	0.069
Na <sup>+</sup>	0.439	<b>0.700</b>	0.124
Mg <sup>2+</sup>	<b>0.806</b>	0.050	-0.408
K <sup>+</sup>	0.113	<b>0.872</b>	-0.056
Ca <sup>2+</sup>	<b>0.956</b>	-0.085	-0.002
Eigenvalue	4.162	1.384	1.246
% variance	36.25	17.48	14.20
% Cumulative variance	36.25	53.73	67.93

에 의해 설명되는 수리 지화학적 작용의 정도를 나타내는 것으로 시료별로 계산되므로 각 요인에 의해 설명되는 수리 지화학적 작용의 공간적인 분포 특성을 파악할 수 있다. 군집분석은 수질 특성의 유사성을 바탕으로 다수의 지점을 동질적인 지점으로 군집화하고 동일 군집 내에 속해있는 지점들의 수질특성을 파악할 수 있게 한다. 군집분석결과 크게 3개의 군집으로 분류되었으며, 동일한 군집으로 분류된 지점들을 Fig. 4에 지도로 표시하였으며 군집분석 결과는 Fig. 5에 Dendrogram으로 나타내었다.

Group A 군집은 45개 지점으로 기장군, 강서구, 금정구, 사상구, 북구, 해운대구 등 구·군별 면적이 넓고, 면적대비 인구밀도가 상대적으로 낮은 지역과 부산진구, 동래구 등 내륙지역에 골고루 분포하고 있다. 반면에 Group B 군집은 26개 지점으로 중구, 동구, 서구, 영도구, 수영구 등 해안에 인접하고, 면적대비 인구밀도가 높은 지역에 분포하였다. 그리고 Group C 군집은 9개 지점으로 동구, 중구, 수영구, 해운대구, 강서구 등 해안에 인접한 지역에 골고루 분포하였다.

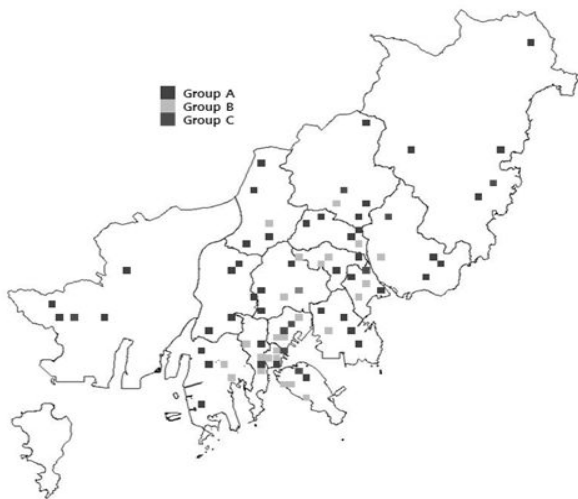


Fig. 4. Distribution of cluster groups classified by cluster analysis.

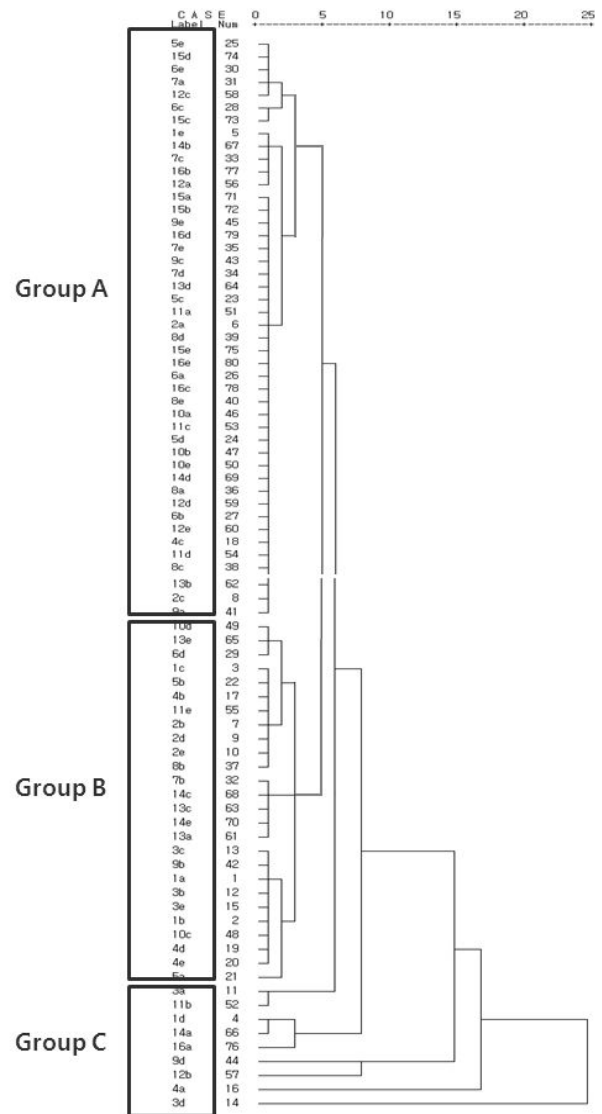


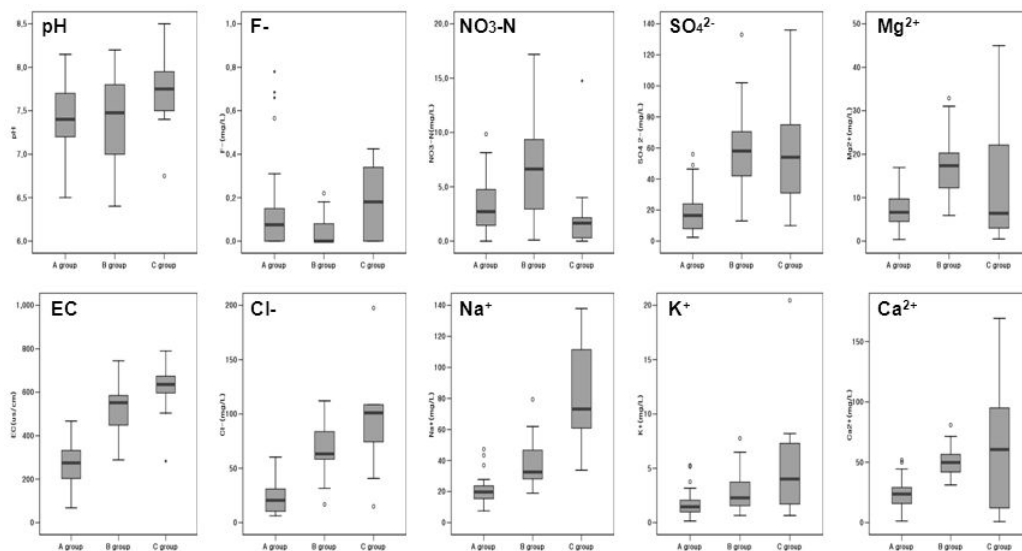
Fig. 5. Dendrogram of groundwater samples classified by cluster analysis.

Table 8에는 3개 군집에 대하여 각 분석 항목들에 대해 일원배치분산분석(ANOVA)을 실시한 결과를 나타내었다. 전기전도도(EC), 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N), 염소이온(Cl<sup>-</sup>), 황산이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 나트륨(Na<sup>+</sup>), 마그네슘(Mg<sup>2+</sup>), 칼륨(K<sup>+</sup>) 그리고 칼슘(Ca<sup>2+</sup>)은 통계적으로 서로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 수소이온농도(pH)와 불소(F)는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 각 군집에 따른 수질항목별 농도 분포를 Fig. 6에 상자 도표

**Table 8.** The result of ANOVA for 3 groups by cluster analysis

clusters	Average of concentration									
	pH	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\text{NO}_3\text{-N}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	$\text{Cl}^-$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	$\text{F}^-$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	$\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	$\text{Na}^+$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	$\text{K}^+$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )
Group A(n=45)	7.4	51	3.2	23.3	0.14	19	20.52	7.27	1.71	23.63
Group B(n=26)	7.4	269	6.9	74.1	0.04	60	37.62	17.44	2.84	49.69
Group C(n=9)	7.7	524	3.0	119.6	0.27	58	82.45	14.57	5.78	62.58
F	2.068	22.048	6.628	9.337	2.951	18.511	25.067	7.044	3.621	6.240
p	0.133	0.005	0.005	0.000	0.087	0.000	0.000	0.011	0.048	0.020

(\*  $p < 0.05$ )



**Fig. 6.** Box plots for water Components by the Group.

로 나타내었다.

Group A에 속한 지점들은 모든 수질항목들의 농도가 다른 지역에 비해 낮아 비교적 오염이 되지 않은 지하수로 전체의 56.2 %를 차지하였다. Group B에 속한 지점들은 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 그리고 마그네슘( $\text{Mg}^{2+}$ ) 등의 농도가 높은 지역으로 해안에 인접하여 해수와 생활하수, 폐기물 등 대도시 오염원의 영향이 복합적으로 미치고 있는 지하수로서 전체의 32.5 %를 차지하였다. 그리고 Group C에 속한 지점들은 다른 지점들에 비해 전기전도도(EC), 염소이온( $\text{Cl}^-$ ), 나트륨( $\text{Na}^+$ ), 칼륨( $\text{K}^+$ ) 그리고 칼슘( $\text{Ca}^{2+}$ )의 농도가 높은 특징을 나

타내어 다른 외부 오염원의 영향보다 해수의 영향이 우세하게 미칠 수 있는 가능성이 큰 지역으로 판단되었으며, 전체의 11.3 %를 차지하였다.

### 시간에 따른 수질변동 특성

지하수의 주요 오염물질에 대하여 시간에 따른 변동 추세를 파악하기 위하여 선형회귀분석(Linear regression analysis)을 하였다. 이번 연구에서는 연도별 분석 자료에서 급격하고 불규칙한 변동을 제거하고 시간에 따른 매끄러운 추세를 얻기 위하여 이동평균법(moving average method)을 이용하여 추세를 파악하였고, 이동평균자료에 대한 선

형회귀분석을 하였다<sup>17)</sup>.

2013년 지하수 수질측정망의 수질검사 결과 9개 지점에서 수질기준을 초과하였고, 수질기준을 초과한 물질은 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)와 염소이온(Cl<sup>-</sup>)이었으므로(Table 2) 이 두 물질을 주요 오염물질로 하여 추세를 분석하였다. 지하수 수질측정망 중에서 일부 폐쇄되거나 사용이 불가능한 경우에는 측정 지점을 변경하여 관측하고 있기 때문에, 시간에 따른 수질 자료의 연속성을 확보하고자 일반지역 지하수 수질측정망 80개 지점 중에서 지점의 변동이 없는 73개 지점에 대하여 2004년부터 2013년까지 10년간 연2회 분석한 결과를 이용하였다.

Fig. 7에는 부산지역의 반기별 평균농도를 사용하여 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)와 염소이온(Cl<sup>-</sup>)의 추세를 나타내었다. 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)의 상관계수(R<sup>2</sup>)는 0.254로 감소하는 추세로 나타났고 염소이온(Cl<sup>-</sup>)의 상관계수(R<sup>2</sup>)는 0.3511로 증가하는 추세로

나타났다. 하지만 상관계수(R<sup>2</sup>)는 두 물질 모두 0.5 미만으로 수질자료와 회귀식이 부합되지는 않았다.

다음으로 각 지점에 대한 선형회귀분석결과 회귀식이 유의수준(p<0.05)에서 통계적으로 유의하고 상관계수(R<sup>2</sup>)가 0.5이상인 회귀식의 기울기를 이용하여 지점별 시간적 추세변화를 확인하였으며, 추세가 확인된 지점의 수를 Table 9와 Fig. 8에 나타내었다. 추세를 분석한 결과 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)는 73개 지점 중에서 50개 지점에서는 증가나 감소의 추세가 없었고, 9개 지점에서 증가 추세, 14개 지점에서 감소 추세가 나타났다. 반면에 염소이온(Cl<sup>-</sup>)은 53개 지점에서 증가나 감소의 추세가 없었고, 13개 지점에서 증가 추세, 7개 지점에서 감소 추세를 나타내었다.

질산성질소는 대부분 인간의 활동에 의하여 주로 발생하는 지표의 오염원에 의해 발생하며, 특히 도시화 지역에서 질산성질소의 농도는 토지이용특성

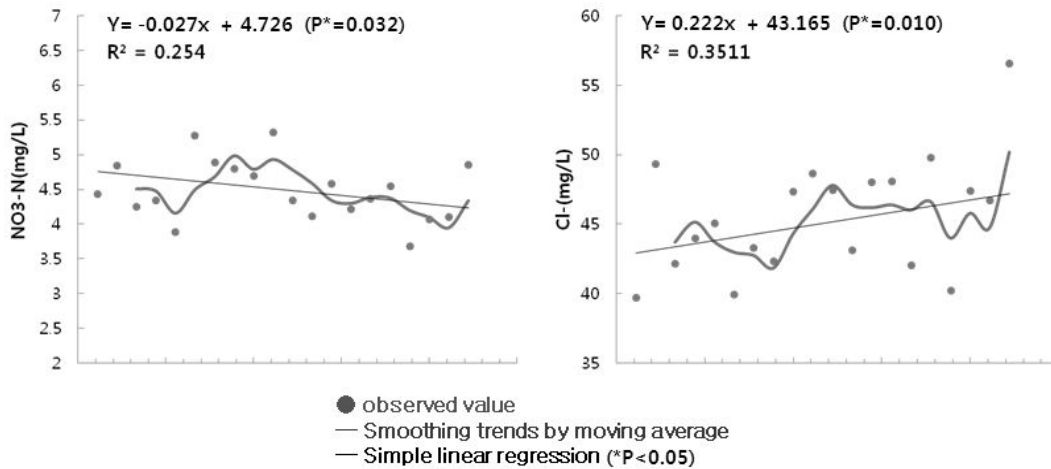


Fig. 7. Time series variation and trends of NO<sub>3</sub>-N and Cl<sup>-</sup> in Busan.

Table 9. Trends of NO<sub>3</sub>-N and Cl<sup>-</sup> data

Compounds	No. of point	Upward trend		Downward trend	
		No. of data	Ratio(%)	No. of data	Ratio(%)
NO <sub>3</sub> -N	73	9	12.5	14	19.4
Cl <sup>-</sup>		13	18.1	7	9.7

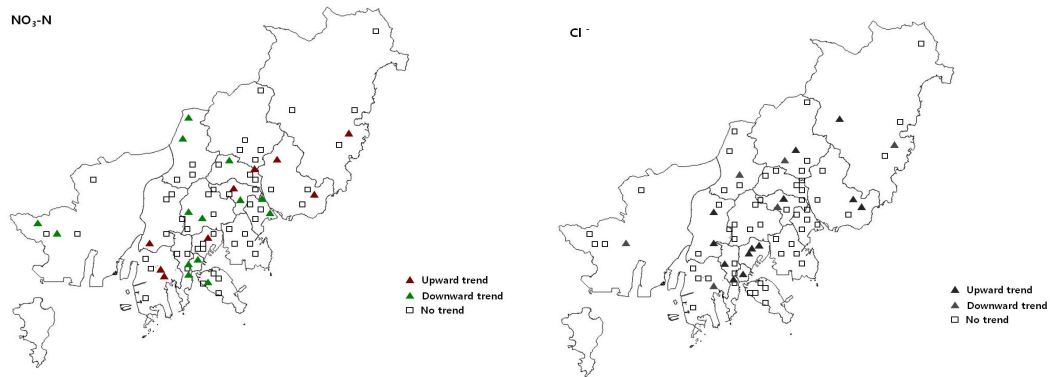


Fig. 8. Distribution of upward and downward trend of  $\text{NO}_3\text{-N}$  and  $\text{Cl}^-$ .

과 지표의 포장율, 하수관 설치와 하수관과의 거리 등 다양한 요인들이 복합적으로 영향을 미치는 것으로 연구된 바 있으며,<sup>18)</sup> 이번 연구에서 질산성질소가 증가하고 있는 지점의 농도분포는 1.7 - 17.2 mg/L를 나타내었으며 현재 낮은 농도를 보이는 지점이라도 지속적으로 증가 추세를 관찰하는 것이 필요하다.

염소이온 농도는 물과 암석의 반응에 의해서 자연적으로 나타나기도 하며, 도시지역에서는 산업체의 폐수, 하수 등에서 기원하며, 해안지역에서는 해수침투의 영향을 받기도 한다. 염소이온이 증가하고 있는 지점의 농도분포는 13.8 - 108.6 mg/L로써 현재 수질기준을 초과하고 있지 않은 지점이라도 지하수 중에서 염소이온은 안정화된 상태로 반응성이 크지 않고 계속 지하수내에 축적되는 성질이 있으므로 지속적으로 염소이온의 증가 추세를 관찰해야 할 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구에서는 부산의 주거지역, 녹지지역 등에 설치 운영되고 있는 일반지역 지하수 수질측정망 80개 지점의 수질 자료를 이용하여 다변량 통계분석을 통해 부산지역 지하수 수질의 광역적인 특성

과 수질에 영향을 미치는 요인들을 결정하고, 지하수의 지역적인 분포특성과 주요 오염물질의 변동 추세를 규명하였다.

1. 대부분 지점에서 중금속 및 휘발성 유기화합물 등의 오염물질은 불검출 이었고, 수소이온농도(pH), 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 불소( $\text{F}^-$ )는 수질기준 이내로 검출되었다. 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 최대농도가 19.4 mg/L로 6개 지점에서 음용수 수질기준을 초과하였고, 염소이온( $\text{Cl}^-$ )은 최대농도가 563.5 mg/L로 3개 지점에서 수질기준을 초과하였다. 염소이온( $\text{Cl}^-$ ) 농도는 전국의 측정망 지점에 비해 높은 것으로 나타났고, 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 전국의 측정망 농도와 비교해서 유의한 차이가 없었다. 주 양이온은 칼슘( $\text{Ca}^{2+}$ ) > 나트륨( $\text{Na}^+$ ) > 마그네슘( $\text{Mg}^{2+}$ ) > 칼륨( $\text{K}^+$ )의 함량 분포로 국내 지하수의 일반적인 분포비율을 나타내었으나, 국내 선행 연구결과에서 조사되었던 타 지역의 지하수와 비교한 결과 부산지역의 양이온 함량이 타 지역에 비해 높은 것을 알 수 있었다.
2. 이번 연구에서는 지질학적 기원을 나타낼 수 있는 분석항목이 이온물질들로만 한정되었고, 구성 암층별로 지점수가 작고 그 분포의 편차가 커서 지질에 따른 지하수의 수질을 규명하기에는 한계가 있었다. 또한 부산은 바다에 인접한

대도시지역으로서 해수 유입과 생활하수, 폐기물 등 복합적인 외부 오염원에 이미 지속적으로 노출되어 왔으므로 지하수 수질은 지질의 고유 특성보다 외부 오염원 요인특성을 더 나타내고 있는 것으로 판단되었다.

3. 지하수의 수질에 영향을 미치는 요인을 분석한 결과 제1요인은 주변 지질과 물과 암석과의 반응, 해수의 영향 등 복합적인 요인, 제2요인은 대도시 지역의 인간의 활동으로 인한 인위적 오염원과 해수의 복합적인 요인, 제3요인은 지질학적 특징인 불소로 결정되었다.
4. 지점들의 수질특성에 따른 군집분석 결과 군집 A는 기장군, 강서구, 금정구, 사상구, 북구, 해운대구 등 구·군별 면적이 넓고 인구밀도가 낮은 지역에 분포하는 45개 지점으로 비교적 오염이 되지 않은 지하수였으며, 군집 B는 중구, 동구, 서구, 영도구, 수영구, 연제구 등 해안에 인접하고 인구밀도가 높은 지역에 분포하는 26개 지점으로 해안에 인접하여 해수와 생활하수, 폐기물 등 대도시 오염원의 영향이 복합적으로 미치고 있는 지하수로 볼 수 있었다. 그리고 군집 C는 9개 지점으로 동구, 중구, 수영구, 해운대구, 강서구 등 해안에 인접한 지역에 골고루 분포하였으며, 다른 외부 오염원의 영향보다 해수의 영향이 우세하게 미칠 수 있는 가능성이 큰 지역이었다.
5. 주요 수질오염물질인 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )와 염소이온( $\text{Cl}$ )에 대하여 시간에 따른 수질의 추세를 분석한 결과 부산시 전체에서 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 감소하는 추세를 보였고, 염소이온은 증가하는 추세를 보였다. 각 지점별로 보면 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 9개 지점에서는 증가 추세를 보였고, 염소이온( $\text{Cl}$ )은 13개소에서 증가 추세를 나타내었다. 현재 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )와 염소이온( $\text{Cl}$ )의 농도가 낮고 수질기준을 초과하

지 않더라도 오염물질이 증가 추세인 지점은 장기적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

대부분 지역에서 지하수의 수질이 양호하였으나 인구밀집지역이나 해안가에 위치한 지역은 해수를 비롯한 외부 오염원의 영향을 지속적으로 받고 있는 것으로 나타났다. 그 동안 지하수 수질측정망에 대하여 지역별 또는 연도별로 지하수 수질 항목별 기준 농도의 초과 여부를 파악하여 관측 결과를 해석하는데 주안점을 둔 반면, 이번 연구에서는 지하수 수질측정망을 이용하여 부산지역 지하수의 수질 특성을 파악하였을 뿐만 아니라, 수질에 영향을 미치는 3가지 요인을 결정하였으며, 지하수 수질의 지역적인 분포와 주요 오염물질의 변동 추세를 규명할 수 있었다. 하지만, 이번 연구는 부산지역을 대상으로 광역적인 측면에서의 지하수 수질 특성을 통계적인 방법을 이용하여 평가하고자 한 것으로서, 지하수 수질이 계절과 강우의 특성, 지하수의 유동성, 지하수 관정의 특성 등 다양한 요인에 의하여 영향을 받을 수 있다는 점을 고려할 때 통계적 해석으로 설명할 수 없는 한계는 있을 것으로 판단된다.

또한, 상대적으로 오염원이 작은 일반지역을 대상으로 하였으므로 지하수 수질에 영향을 미치는 주요인이 해수와 대도시지역 생활오염원으로 나타난 것으로 판단되었고, 향후, 해안에 인접한 지역의 지하수에 대한 해수의 영향을 파악할 수 있는 연구와 공단지역 등 대규모 오염원이 존재하는 오염 우려지역을 포함하는 지하수 수질평가가 필요할 것으로 판단된다. 그리고 현재 구·군별 5개 지점씩 균일하게 지정되어 있는 지하수 수질측정망 지점을 장기적으로는 지질단위별 또는 면적별 등으로 세분화하여 조정 확대하여 운영한다면 오염이 우려되는 지역과 오염원과의 관계 그리고 지하수 수질의 변동 추세를 보다 명확히 규명할 수 있고, 미래 지하

수 수질의 안정성을 확보하는데 도움이 될 것이라 기대한다.

### 참고문헌

1. 국토해양부, 지하수조사연보(2012)
2. 환경부, 지하수 수질측정망 설치 및 수질오염실태 측정계획(2013)
3. 정상용 등, “다변량 분석을 이용한 부산 수영구 지하수 오염특성 평가”, 지질학회지, 47(1), 45 - 58(2011)
4. 김규범 등, “국내 오염우려지역의 지하수 수질 추세 특성”, 한국지반환경공학회, 11(3), 5 - 16 (2010)
5. 박준홍 등, “지하수 수질측정망 자료를 활용한 시간적 오염도 추이변화 분석”, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 27(1), 120 - 128 (2011)
6. 윤현숙 등, “대구지역 지하수 수질측정망의 수질특성분석(1)”, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집, 47(2006)
7. 김재광 등, “경기북부지역 지하수 수질측정망에 대한 수질특성을 연구”, 보건환경연구원보, 제20호, 207 - 214(2007)
8. 안상수 등, “광주지역 음용 지하수 등 미네랄 성분의 분포”, 한국환경분석학회, 12(3), 185 - 191(2009)
9. 이종운 등, “국내 화강암질내 심부지하수의 지구화학적 특성”, 한국지하수토양환경학회, 4(4), 199 - 211(1997)
10. 박경수 등, “가평지역의 지하수중에 함유된 미네랄성분 조사에 관한 연구”, 20(1), 55 - 63 (2005)
11. 송은승 등, “충남지역 주민들의 약수 이용 실태 및 무기질 함량에 관한 조사 분석”, 19(4), 515 - 525(2006)
12. 이인호 등, “한국지하수토양환경학회지, 광주광역시 지하수의 수리지화학적 특성 연구”, 7(3), 115 - 132(2002)
13. 이진영 등, “GIS를 이용한 경남-울산-부산지역 구성암류의 지질시대별 및 암층별 분포율과 분포특성”, 암석학회지, 20(1), 39 - 59(2011)
14. 김민경 등, “부산 지역 지하수 수질의 통계적 분석”, 부산광역시보건환경연구원보, 19(1), 142 - 153(2009)
15. 정재은 등, “부산지역 지하수 중의 기능성 미네랄 성분 분석 연구”, 부산광역시보건환경연구원보, 20(1), 88 - 109(2011)
16. 박영옥 등, SPSS를 활용한 통계자료분석, 경문사(2012)
17. 노형진, SPSS/EXCEL을 활용한 알기쉬운 시계열분석, 학현사(2011)
18. 원종석 등, “도시화 지역에서 GIS를 이용한 지하수 질산성질소 분포 영향요인 분석”, 자연환경지질학회지, 37(6), 647 - 655(2004)
19. 국가지하수정보센터 [www.gims.go.kr](http://www.gims.go.kr)
20. 토양지하수정보시스템 <http://sgis.nier.go.kr>