

## 清州市 地下水의 인자분석

남 기 창  
청주대학교 환경공학과

### An Factor Analysis of Groundwater in Chongju City

Kie-Chang Nam

*Department of Environmental Engineering, Chongju University*

#### Abstract

A spring water quality was depend on the aquifer soil status. However, water quality was rapidly contaminated by artificial affects. In the contaminate components, the heavy metals were significantly important because the heavy metals influence the plants and the animals. But, it is difficult to find out how the heavy metal can affect in the water quality. According to the group analysis and the factor analysis, water quality management was advanced. The experimental area was divided into three region and six factor. The six factor could not define the overall water quality, however this method were one of the useful methods.

Key words: heavy metal, factor analysis, water quality management

## I. 서 론

### 1. 연구목적

물은 지구상에 살고 있는 생명체에 가장 중요한 한정요소(limiting factor)로 작용하고 있으며, 물 공급은 지역적으로 대단히 불균등할 뿐 아니라, 시간에 따라서도 변하기 때문에 대부분 지역의 경우 필요한 만큼의 물을 얻는다는 것은 매우 힘든 일이다. 이러한 한계를 극복하기위해 인간은 자연의 물 시스템을 조절하는 방법을 연구하기 시작했으며 댐, 수로, 관개 시스템, 배수구, 홍수 조절 시설물 등을 건설함으로써 물 시스템을 더욱 안전하게 만들었다. 그 결과 물 시스템 의존도가 더욱 증대되는 결과를 초래했다.

### 2. 연구방법

연구기간은 2000년 8월부터 2003년 3월까지이며, 야외에서 채취한 샘플을 연구실에서 분석을 실시하였다. 샘플지역은 지하수 형태에 따라 샘과 우물로 구분하였으며, 도시기능에 따라 Fig. 1과 같이 농업지역, 녹지지역, 주거지역, 공업지역 등으로 구분하여 38개 지점에서 1ℓ 씩 시료를 채취했다. 샘플링 방법은 양이온 측정시료와 음이온 측정시료를 구분하여 채취하였다. 양이온 측정시료시 미량 원소의 금속이온 흡착을 막기 위해 채취 시에는 0.5N 질산용액(HNO<sub>3</sub>)을 투여하여 100cc 채수병으로 채취했다.

음이온 측정시료는 1,000cc 채수병으로 채취, 즉시 ice box에 보관, 이동하였고 24시간 이내에 5℃로 냉장보관, 분석하였다. 분석 방법은 현지 측정

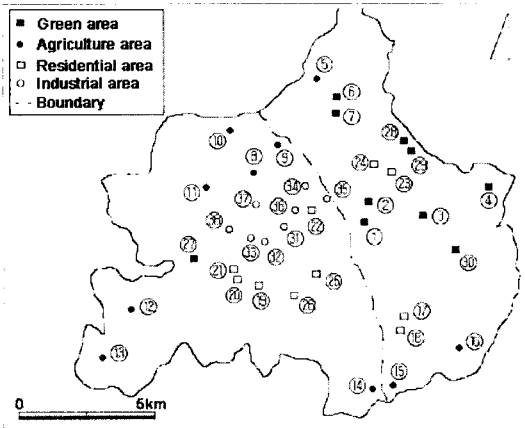


Fig. 1. Sampling site.

과 실내분석을 병행하였다. 현지 측정항목은 수온, DO, pH로, WQC-20A로 측정하였다. 실내분석은 음이온(F, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Br)은 이온 크로마토그래피(Ion-Chromatography)로 실시하였고, 양이온(Ca, K, Al, Mg, Na, Fe)은 AAS(Atomic Absorption Spectrometer)을 이용하여 측정하였다. 수질에 대한 미량 원소인 (Mn, Sr, Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd, Cs, Ba, Bi, U, Rb, Zr, Mo, W, Y, La, Ce, Th) 등은 ICP-Mass(Inductivity Coupled Plasma Mass)를 이용하여 기초과학지원센터에서 분석하였으며, SAS를 이용하여 상관관계분석, 군집분석, 인자분석 등의 통계처리를 하였다.

## II. 지역 개관

### 1. 연구지역의 위치

청주시는 동경 127°22′ (서단 : 동막동 산 97) ~ 동경 127°33′ (동단 : 월오동 산 2 1), 북위 36°34′ (남단 : 장암동 618) ~ 북위 36°43′ (북단 : 외하동 532)에 위치하고 있으며 중앙 자오선(동경 127°30′)이 통과하는 우리나라의 중앙적인 위치를 점하고 있다. 청주시는 1970년대에는 농업적, 문화·교육적 도시의 특성이 강하였으나 1980년 이후에는 2·3차산업 도시로 변화하였다. 1989년 청주공업단지가 1·2·3·4공단으로 완공되어, 2000년 현재 416만m<sup>2</sup> 규모에 182개 업체, 23,531명이 입주하고 있다. 이곳에서는 반도체·섬유·도자

기·가전제품·화학·식품 등이 주력 산업이나 최근에는 노동집약적 산업의 급격한 퇴조를 보여 왔으나 청주 공항과 연계된 오창산업과학단지, 오송 생명과학단지 등의 개발이 진행 중이다.

### 2. 지질 및 지형

청주시 주변의 지질은 Fig. 2와 같이 변성퇴적암류인 편마암류와 곳곳에 잔류되어 있는 흑운모 편마암류와 이들을 관입하고 있는 화강암과 이를 부정합으로 덮고 있는 편마암류와 그리고 그 위를 또다시 부정합으로 덮고 있는 충적층으로 대별된다. 즉 변성퇴적암류인 편마암류는 주로 강외면과 옥산면 등에 분포되어 있으며, 주로 흑운모 호상편마암은 편암류 분포지역 북부에 분포하며 유색광물로는 흑운모 녹니석 등과 무색광물인 석영, 사장석, 칼리장석 등이 교차되는 것이 특징이다. 편마암류 분포지역 남부에는 화강암질 편마암이 산출되는데 북부의 흑운모편마암보다는 흑운모가 미약하며 화강암과 유사한 조직과 구조를 보여준다. 청주시 주변의 청원군에는 대부분 변성퇴적암 내에 협재된 석회암이나 저품위의 석탄, 슬레이트 및 흑색 이질암내에 잉태 가능성을 보이는 우라늄 등이 대상이 되고 있으며 그밖에 부존된 자원 광물이 극히 미약한 편이다. 현재 청주시 주변에 채굴 중인 것은 석회암과 석재용 슬레이트가 있을 뿐이다. 청주시의 지형은 동고서저형을 이루고 있으며,

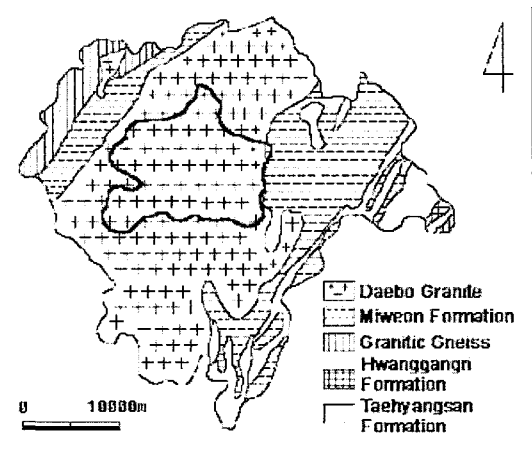


Fig. 2. Geological map of Chongju city.

청주시의 배후산지인 상당산군은 구녀산과 상당산까지 남서로 달리다가 선도산(546m), 미례산(336m), 관봉, 태봉을 잇는 맥은 남쪽으로 달리고 있다. 청주시의 배경산인 우암산(338m)은 상당산에서 분기된 산으로 남서방향으로 뻗어오다 시가지 동쪽에 이르러서는 급사면을 형성하고 있다. 청주시의 서쪽에는 수많은 구릉지가 파랑상으로 상재한다. 200m이상 산군은 부모산(232m), 팔봉산(291m), 망일산, 국사봉(281m), 봉무산(346m), 작두산(429m), 노고봉(305m)등이다. 우암산 남단부에 돌출한 당산은 청주의 진산으로 토성의 터가 있고, 서편에 있는 사직산은 과거 사직단이 있던 곳으로 구릉성 산지에 속한다.

청주시를 흐르는 하천은 가경천, 명암천, 미평천, 석남천 영운천, 월운천, 울랑천 등 7개의 준용하천이 합류하여 지방하천인 무심천을 이루며 이는 미호천에 합류하여 금강으로 합류된다.

### 3. 기상 및 토양

청주시의 기온 분포는 최근 11년간(1990년~2000년)의 연평균기온은 12.55℃로 비교적 온난한 편이나 최한월인 1월 평균 기온은 -2.27℃, 최난월인 8월 평균기온이 25.81℃로 연교차가 28.08℃에 달하며 같은 동위도의 다른 지방보다는 한서 차가 큰 대륙성기후이다.

청주시의 연평균 강수량은 1,270.03mm로 전국평균 1,180mm에 비해 비교적 많은 분포를 보이고 있다.

청주의 토양을 개괄적으로 고찰하면 6개의 토양군으로 구별되는데, 배수가 양호한 하성 충적의 사질 토양인 낙동-화봉 토양군, 배수가 약간 불량 또는 불량인 하성 충적의 식양질내지 사양질의 신흥-함창 토양군, 곡간 및 선상지로 배수가 양호하거나 약간 불량인 곡간 충적의 사양질 토양으로 구성된 사촌-상주 토양군과 화동-극락·예산-오산 토양군은 저구릉 및 구릉지로서 배수가 양호한 화강암 및 화강편마암계에 기인된 잔적의 사양질 내지 자갈이 있는 사양질 토양이며 마지막으로 삼각-외산 토양군으로 구릉 및 산악지에 나타나는 것으로 배수가 매우 양호하거나 양호한 화강암, 화강편마암 및 편암계에 기인된 잔적층의 사양질 내지 자갈이 많은 사양질 토양으로 구분된다.

## III. 수질 분석 결과

### 1. 원소간의 상관관계

상관관계는 각 수질 항목들 간의 상호변화 관계를 알 수 있는 통계기법이다. 각 항목간의 상관관계를 살펴보면 다음과 같다. Na은 Mg, Sr, Cl<sup>-</sup> 등과 정의 상관이 높으며, Mg은 Na, Cl<sup>-</sup>, Ca, Sr 등과 높은 정(+)의 관계가 있다. K은 대부분의 원소와 상관이 적은 것으로 나타났다. Ca은 Mg, Al, Sr, Cr 등과는 매우 높은 상관을 보여주고 있으며 음이온인 Cl<sup>-</sup>는 주요 양이온들과 정(+)의 상관관계를 유지하고 있다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등은 대부분의 양이온과는 상관이 적은 것으로 나타났다. Sr은 주요 양이온과 정(+)의 관계를 보여주고 있다. Bi과 Mo, W, Zn 등은 다른 항목과 상관이 적은 경향이 있다. pH도 다른 미량원소들과 마찬가지로 상관이 높은 항목이 없으며, DO도 pH와 유사한 경향이 있다. 중금속 중에서 유일하게 Cr이 주요 양이온과 높은 상관을 보여 주고 있으며 그 외 이온과는 상관이 거의 없는 것으로 나타나고 있다.

### 2. 군집분석

본 연구에서는 지역별 특성에 따라 유형을 분류하기 위해 Ward방식으로 군집분석을 하였다. 이 기법은 모든 분석대상 지역들 중에서 특성이 비슷한 지역들을 유형별로 분류하는데, 유용한 통계 기법이라고 볼 수 있다. 본 연구지역의 38개 샘플지점에서 채수·분석한 자료 중 전지역에서 검출된 항목을 군집분석의 입력자료로 이용하였다. 도출된 정보 손실량을 기준으로 하여 그룹단계별로 정보 손실량의 증가폭을 살펴 본 결과 2-3단계에서 가장 큰 폭으로 증가한다. 이러한 정보 손실량이 증가한다는 것은 2단계에서 그룹화가 무리하게 이루어졌음을 의미한다. 그러므로 Fig. 6과 같이 3개의 유형으로 지역특성을 구분하는 것이 가장 타당하다고 볼 수 있으며, 그룹별 특징 및 샘플지점의 그룹화는 표 Fig. 3과 같다.

제1그룹은 전 항목이 비교적 낮은 지점으로 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 38 등 34개 지점이 속하며, 제2

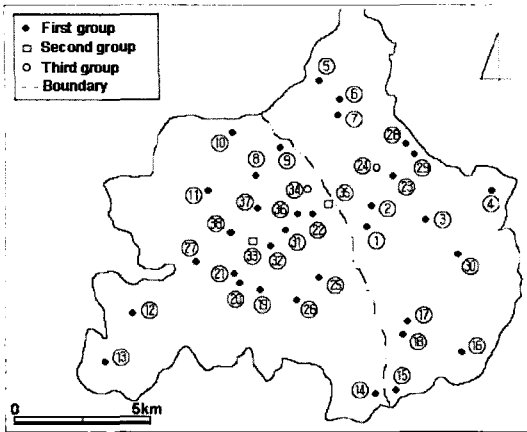


Fig. 3. Group of sampling sites

그룹은 Na, Mg, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CaCO<sub>3</sub>, Ba가 비교적 높은 지점으로 33, 35 등 2개 지점이, 제3그룹은 Ca, Sr, Cr, Zn, U 등이 높고 음이온이 비교적 낮은 지역 지점으로 24, 34번 등 2개 지점이 속한다. 제1그룹에 속하는 지역은 대부분 녹지지역이 많으며, 제2그룹이 속하는 지역은 공업지역으로 제조업이 많은 지역이 속한다. 제3그룹의 경우는 특정한 지역은 아니지만 암석과의 관계가 깊은 것으로 해석된다.

그룹별 양이온의 평균값을 살펴보면 Table 2와 같다. Na은 제1그룹이 17.57mg/ℓ로 가장 낮고, 제2그룹이 38.18mg/ℓ로 가장 높게 검출되었으며, Mg도 Na과 유사하며, 제1그룹이 5.54mg/ℓ로 가장 낮다. Fe은 모든 그룹에서 검출되지 않았다. K은 제1그룹, 제3그룹, 제2그룹 순으로 많으며, Ca은 제3그룹과 제2그룹이 대체로 많은 경향이 있다.

음이온의 경우 Table 3과 같이 Cl<sup>-</sup>은 제2그룹이 가장 높고 제1그룹이 가장 낮은 경향이 있다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 제1그룹과 제2그룹이 유사하지만 제3그룹은 현저히 낮다. Br<sup>-</sup>과 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>은 검출되지 않은 성분이며, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>은 Cl<sup>-</sup>와 유사한 경향이 있으며, CaCO<sub>3</sub>도 Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 유사한 경향이 있다.

미량원소의 그룹별 특징을 보면 Table 4와 같이 Mn은 제2그룹이 가장 높으며, Sr과 Cr은 제3그룹이 가장 높게 검출되었다. Y, Cd, Cs 등은 검출되지 않은 원소들이며, Zn, U, Rb 등은 Cr, Sr과 마찬가지로 제3그룹이 높으며, Ba은 제2그룹이 제일 높은 경향이 있다. Th, La 등은 모든 그룹에서 검출되지 않았다.

현장측정 항목은 Table 5와 같이 수온은 제1그룹과 제2그룹에서 유사한 경향이 있으며, 제3그룹이 다소 높은 경향이 있다. pH는 대부분 약산성내

Table 1. Characteristic according to group

Content	First group	Second group	Third group
Characteristic	most of component: low area	Na, Mg, Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CaCO <sub>3</sub> , Ba: a few high area	Ca, Sr, Cr, Zn, U: high, a negative ion: low area
Sampling site	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 38	33, 35	24, 34

Table 2. Average value of main positive ion concentration according to group

(Unit : mg/ℓ)

A positive ion	First group	Second group	Third group	Average
Na	17.57	38.18	24.83	19.04
Mg	5.54	19.91	13.30	6.70
Al	0	0	0.06	0
K	1.61	2.76	1.92	1.68
Ca	20.08	50.04	113.74	26.58

Table 3. Average value of main negative ion concentration according to group

(Unit : mg/ℓ)

A negative ion	First group	Second group	Third group	Average
F <sup>-</sup>	0.22	1.31	1.29	0.33
Cl <sup>-</sup>	23.49	60.20	36.10	26.08
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.04	0	0	0.037
Br <sup>-</sup>	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	18.56	18.15	0.60	17.60
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0	0	0	0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	15.46	90.10	16.30	19.43
CaCO <sub>3</sub>	65.35	228.50	136.50	77.68

지 중성이지만 제3그룹에서만 중성에 속한다. DO는 제1그룹에서 가장 높았고 제3그룹에서 낮은 경향이 있다.

### 3. 인자분석

청주시의 지하수의 특성을 파악하기 위하여 현장측정 항목, 음이온, 양이온, 미량원소 등 수질과 관련된 변수들을 인자분석을 실시하였다. 인자분석

(factor analysis)은 여러 변수의 상호관계로부터 공통변량을 구하고 측정치의 중복성을 찾아내어 몇 개의 기본적 변인 즉, 몇 개의 변인군을 추출해 내는데 이용하는 기법이다. 본 연구에서 사용한 분석법은 주성분 분석 방법을 이용하였고, 인자추출에서 고유치(Eigenvalue)가 1.0보다 큰 인자만을 선택했으며 인자부하량은 0.5이상일 때만 선택했다. 경우에 따라 변수들의 부하량이 여러 인자에

Table 4. Average value of main microelement concentration according to group

(Unit : µg/ℓ)

Microelement	First group	Second group	Third group	Average
Mn	33.03	1,953.20	18.15	133.31
Sr	231.79	482.70	1392.90	306.11
Cr	6.12	19.50	34.35	8.31
Co	0	0.80	0	0.04
Cu	4.93	2.30	3.30	4.71
Zn	74.08	106.40	2,302.15	193.05
Pb	0.02	0	0	0.02
Cs	0.02	0	0.11	0.02
Ba	27.13	87.75	44.80	31.25
Bi	2.59	2.60	2.60	2.59
Rb	0.07	0	1.12	0.12
Zr	4.14	4.10	4.20	4.14
Mo	3.90	3.85	4.75	3.94
W	2.44	2.15	2.35	2.42
Ce	0.15	0.13	0.13	0.15

Table 5. Average value of field measured item according to group

Measured item	First group	Second group	Third group	Average
Temperature(℃)	17.72	17.85	19.70	17.84
pH	6.68	6.71	7.44	6.72
DO(mg/ℓ)	4.57	3.15	2.95	4.41

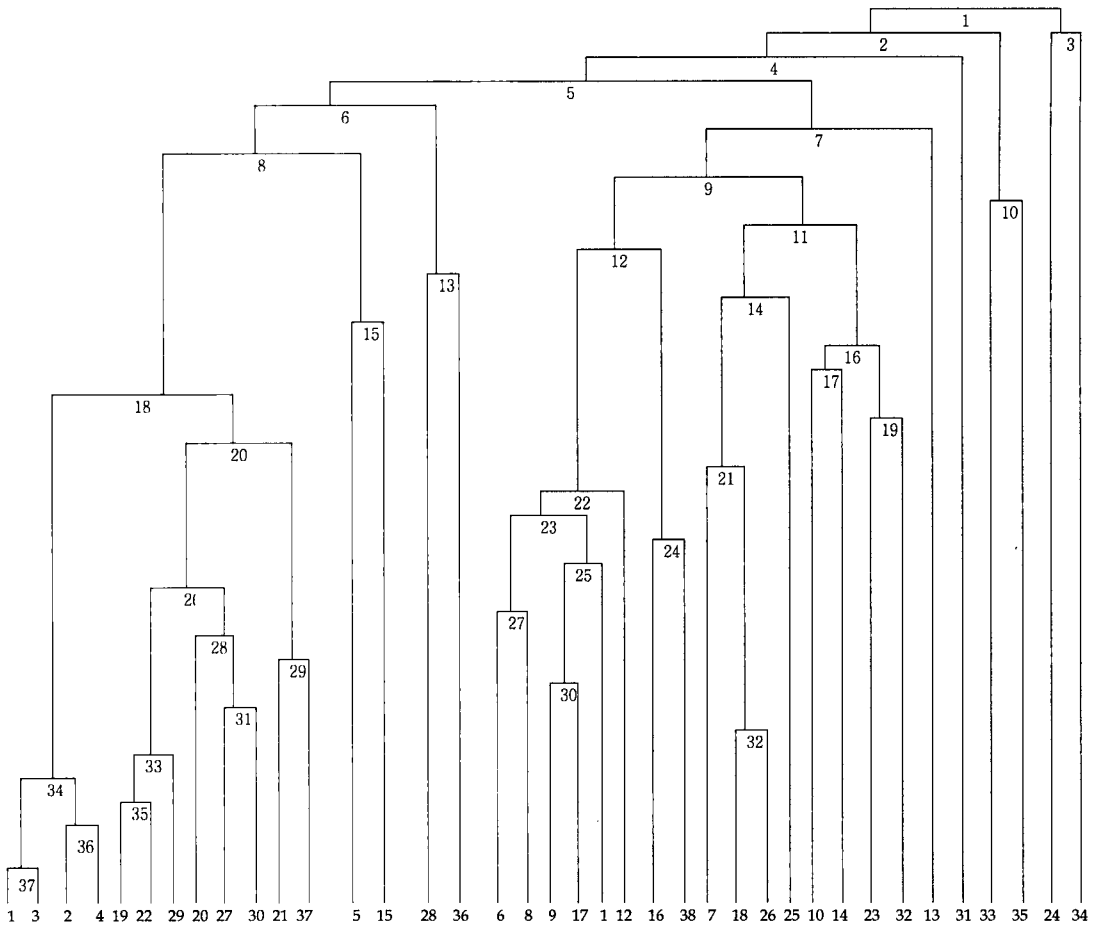


Fig. 4. Denderogram.

분산되어 있어 각 변수가 어느 인자에 속하는지를 구분하기 어려운 상황도 발생한다. 이런 경우 각 변수들을 어느 한 특정한 인자에 높게 부하하도록 하고 나머지 인자들에게는 낮게 부하되도록 함으로써 인자 구조는 명확하게 밝히는 것이 중요함으로 Varimax방식으로 회전시켜 분석하였다. 본 연구에서는 현장측정 항목 3개, 음이온 8개, 양이온 6개, 미량원소 20개의 변수를 이용하여 인자 분석한 결과는 Table 6과 같다. 1.0이상의 고유치를 가진 인자가 6개가 추출되었고 이들 6개의 인자는 전체 변량의 79.31%를 설명하고, 이중 10% 이상의 설명량을 갖는 인자는 제1인자에서 제4인자까지이며 전체 설명량의 63.92%를 차지한다. 제1인자는 고유량 4.47로 전체설명량의 22.37%를 차지하고

이에 관련된 변수는  $SO_4^{2-}$ (0.87),  $CaCO_3$  (0.80),  $Cl^-$ (0.72), Na(0.69), Mg(0.67) 등으로 정(+)의 부하량을 보이며, DO(-0.74)는 부(-)의 부하량을 갖는다. 이 성분들은 물 속에 다량으로 포함되어 있는 음이온과 양이온의 주요성분 인자로 칭한다. 제2인자는 고유치가 3.94로 전체설명량이 19.75%를 차지하고 이에 관련된 변수는 Ca(0.94), Sr(0.94), Cr(0.91), Zn(0.61) 등으로 전체 정(+)의 부하량을 보이며, Sr, Cr, Zn 등은 지하수에 미량으로 존재하는 성분들이지만 Ca만 예외 성분이다. 따라서 제2인자를 미량성분으로 명한다. 제3인자는 고유치가 2.22로 전체설명량이 11.10%를 차지하고 이에 관련된 변수는 수온(0.71), F (0.68),  $NO_3^-$ (-0.61) 등으로 수온과 F는 정(+)의 부하량을 보이며,

Table 6. Result of factor sampling

Element	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.87584					
CaCO <sub>3</sub>	0.80514					
Cl <sup>-</sup>	0.72184					
Na	0.69736					
Mg	0.67331					
DO	-0.74123					
Ca		0.94680				
Sr		0.94646				
Cr		0.91453				
Zn		0.61990				
water temperature			0.71786			
F <sup>-</sup>			0.68009			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			-0.67663			
Zr				0.90064		
W				0.62673		
Ba				-0.54300		
Ce					0.74488	
K					0.67558	
pH					-0.51343	
Bi						0.73111
Eigenvalue	4.475267	3.949930	2.221548	2.140632	1.566722	1.512810
Accumulative amount	4.475267	8.425197	10.646745	12.787377	14.354099	15.866909
Common pct of var(%)	28.20	24.89	14.00	13.49	9.87	9.53
Accumulative amount(%)	28.20	53.09	67.09	80.58	90.45	99.98
Alteration pct of var(%)	22.37	19.75	11.10	10.70	7.83	7.56
Accumulative amount(%)	22.37	42.12	53.22	63.92	71.75	79.31

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>은 부(-)의 부하량을 갖는다. F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>은 음이온 성분에 속한다. 제4인자는 고유치 2.14로 전체 설명량이 10.70%를 차지하고 이에 관련된 변수는 Zr(0.90), W(0.62), Ba(-0.54) 등으로 Zr, W는 정(+)의 부하량을 가지며, Ba는 부(-)의 부하량을 갖는다. 이들은 물에 잘 용해되지 않는 성분으로 불용성 성분이 주로 속하는 인자이다. 제5인자는 고유치 1.56으로 전체설명량이 7.83%를 차지하고 이에 관련된 변수는 Ce(0.74), K (0.67), pH(-0.51) 등이 속하며 Ce, K은 정(+)의 부하량을 가지며, pH는 부(-)의 부하량을 가진다. 제6인자는 고유치 1.51로 전체설명량 7.56%를 차지하고 이에 관

한 변수 Bi(7.56)으로 정(+)의 부하량을 가진다. 하지만 제5인자와 제6인자에 속하는 인자는 인자 명명이 곤란하다.

#### IV. 결 론

최근에 청주시는 인구의 급격한 증가와 공업화로 인하여 용수의 사용량과 수요는 크게 증가되고, 이로 인하여 오염원의 발생 역시 크게 증가하였다. 이는 청주시 생태계의 변화는 물론 안정적이고 지속적인 인간의 생활을 보장받을 수 없다.

이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 지하수를

중심으로 청주시의 지역별 지하수의 특성 그리고 오염의 근원을 규명하는 데 그 목적을 두고 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, Na은 Mg, Sr, Cl<sup>-</sup> 등과 정의 상관이 높으며 Mg은 Cl<sup>-</sup>, Sr 등과 높은 정의 관계가 있다. K도 Mg, Ca 등과 유사한 경향을 보여주고 있다. 음이온인 F<sup>-</sup>와 Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등은 주요 양이온들과 정의 상관관계를 유지하고 있다. Sr은 주요 양이온과 음이온인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>과 중탄산염 등과 정(+)의 관계를 보여주고 있다. Bi과 Mo, W, Zn 등은 다른 항목과 상관이 적은 경향이 있다.

둘째, 군집분석의 결과는 제1그룹은 전 항목이 비교적 낮은 지점으로 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 38 등 34개 지점이 속하며, 제2그룹은 Na, Mg Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CaCO<sub>3</sub>, Ba가 비교적 높은 지점으로 33, 35 등 2개 지점이, 제3그룹은 Ca, Sr, Cr, Zn, U 등이 높고 음이온이 비교적 낮은 지역 지점으로 24, 34 지점 등 2개 지점이 속하며, 제1그룹에 속하는 지역은 대부분 녹지지역이 많으며 제2그룹이 속하는 지역은 공업지역으로 제조업이 많은 지역이 속한다. 제3그룹은 특정한 지역은 아니지만 암석과의 관계가 깊은 것으로 해석된다.

셋째, 본 연구에서는 6개의 인자가 추출되었으며 누적량은 15.86으로 변동설명량이 79.31%로 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. 김범철외, 국내 주요호수의 육수학적 조사(I), 육수학회지 제4권 30호, pp.431~449, 1997.
2. 김좌관, 수질오염개론, 동화기술, 1993.
3. 김진택, 환경오염공해공정시험법 해설(수질분야), 신평출판사, 1992.
4. 김인수, 문희, 박철웅, 오은하, 김현주, 전남지역 지하수의 수질현황에 대한 조사 연구, 지하수45호, pp.60-79, 1995.
5. 신현국, 환경론, 신평출판사, 1995.
6. 김학명 외 4인, 지하수오염학, 동화기술, 1992.
7. 남기창 외 3인, 주요원소를 이용한 석회암지대

- 의 수질특성에 관한 연구, 지하수 제2권, pp.1-13, 1992.
8. 라승춘, 의정부시 광천수 환경 및 수질조사연구, 한양대학교 석사학위논문, pp.1-32, 1987.
9. 문건주, 산동광상의 동위원소연구, 광산지질, 제17권 3호, pp.171-177, 1977.
10. 문병열, 지질환경에 따른 수질변화, 중앙대논문집, 11, pp.397-402, 1966.
11. 박수진, 소규모 화강암질 하천유역의 물질수지와 풍화특성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 청구논문, pp.1-89, 1992.
12. 박창용, 충북 음성 무극광산지역의 수리지구화학과 화강암질암에서의 물-암석반응, 서울대학교 석사학위논문, PP.1-69, 1993.
13. 심수용, 우리나라의 비료와 사료에 기인하는 비점오염원의 질소, 인 배출량, 강원대학교 졸업논문, 1998.
14. 안종성, 한정상, 이정호, 정창조, 유장걸, 동위원소를 이용한 제주지역수자원에 관한 연구(5), KAERI/ RR-824/89, 1988.
15. 안중기, 최무용, 경기도 여주군 가남지역의 지하수 수질의 공간적 패턴에 관한 연구, 지하수 제 3호, pp.50-61, 1993.
16. 안중기, 소유역 곡저부 천층지하수의 수위와 흐름변화, 건국대 대학원 박사학위논문, pp.1-103, 1995.
17. 이현동의, 과천시외 하수원단위 및 관거오점물 조사연구, 한국수질보전학회지, pp.38~49, 1990.
18. 임종호, 홍시환, 단양지역에 분포한 석회암동굴계의 수질에 관한 분석, 동굴 제 3권 34호, pp.7-22, 1993.
19. 최무용, 재래식 화장실 부변의 수질오염에 대한 연구, 지하수45호, pp.1-9, 1995.
20. 최무용, 남기창, 임종호, 안중기, 주요원소를 이용한 석회암지대의 수질특성에 관한 연구, 지하수, 제 2집, pp.86-99, 1992.
21. 최무용, 임종호, 서울시 주변 약수에 대한 인식도, 지하수 제 1권, pp.1-25, 1991.
22. 최의소, 생활하수의 영양염류 함량에 관한 연구, 한국수질보전학회지, pp.188~194, 1992.



23. 한영희, 한강하류의 환경학적 연구 III, 육수학회지 제 4권 30호, pp.290~299, 1997.
24. APHA, AWWA, WPCFEF, Standard methods for examination of water and wastewater 23th, APHA.N.Y, 1996.
25. Back, W., J.S, Rosensheir, and P.R. Seaber, Hydrogeology, Geology of North America, Geological Society of America, 524 pp, 1988.
26. Briz-Kishore, B.H., and G. Murali, Factor Analysis for Revealing Hydrochemical Characteristics of a Watershed, Environ Geol Water Sci. Vol.19, No.1, pp.3-9, 1992.
27. Ball, J.W., Jenne E.A., and Nordstrom, D.K., WATEQ2-A computerized chemical model for trace and major element speciation and mineral equilibria of natural waters, In Chemical Modeling of Aqueous Systems, Amer. Chem. Soc. Symposium Series 93, pp.815-835, 1979.
28. Biggar, J.W., and D.R. Nielsen, Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. Water Resour. Res. 12(1):78-84, 1976
29. Dagan, G., Statistical theory of ground water flow and transport: pore to laboratory, laboratory to formation, and formation to regional scale, Water Resour. Res., 22, pp.1305-1345, 1986.
30. Faure, G., Principles and Applications of Inorganic Geochemistry, macmillan publishing company, pp.1-611, 1991.
31. Freeze, R.A., A stochastic conceptual analysis of one-dimensional ground water flow in nonuniform homogeneous media, Water Resour. Res., 11(5), PP.725-741, 1975.
32. Matthes, G., The Properties of Groundwater, John Wiley and Sons, pp.1-406, 1982.
33. Nordstrom, D.K., and J.L., Munoz, Geochemical Thermodynamics, Blackwell Sci., pub., 477 pp, 1986.
34. Plummer, L.N., Parkhurst, D.L., and Thorstenson, D.C., The development of reaction models for groundwater systems, Geochim. Cosmochim. Acta 47, 665-686, 1983.
35. Truesdell, A.H., and Jones, B.F., WATEQ, A computer program for calculating chemical equilibria of natural waters, USGS J.Res. 2, pp.233-248, 1974.