

통계적 기법을 이용한

중국 랴오닝지역에서의 지하수 수질 특성에 관한 연구

A Statistical Analysis of Groundwater Quality in Liaoning, China

Zi Xun Wang**, Hyon Seung Dho**, Sung Duk Kim***

**Civil Engineering, Chungju University, 298 Daeseong-ro., Chungju, Chungbuk, Korea

***School of Civil Engineering, Chungbuk National University,

52 Naesudong-ro, Seowon-gu, Cheongju, Korea

Abstract

A series of statistical analyses including hydrochemical analysis, correlation analysis, factor analysis, and multivariate cluster analysis were performed using the groundwater quality data in the 14 cities of Liaoning, China. The groundwater in Liaoning contains a great amount of Cl and Na. The factor analysis showed that the intrusion of the seawater to the coastal cities was the first factor to groundwater pollution, followed by the sewage of the house (second factor) and the sewage from the factories (third factor). The cluster analysis categorized all the cities in Liaoning into three groups: the cities quietly affected by the intrusion of seawater (Group 1), the cities generally affected by the seawater (Group 2), and the inland cities which are not much polluted (Group 3). The findings from this study provide valuable information to prevent the pollution of groundwater in the region.

Key words: Liaoning, groundwater, coastal cities, cluster analysis, seawater intrusion

** Tel. +82+43-261-2403. Fax. +82-43-261-2377. E-mail: dhs8470@cju.ac.kr

*** Corresponding author. Tel. +82-43-261-2403. Fax. +82-43-275-2377. E-mail: soundoug@hanmail.net

Submission & Publication Process

Received: Aug. 11, 2015 / Revised: Aug. 28, 2015 / Accepted: Sep. 1, 2015

국문초록

본 연구는 중국 Liaoning성 14개 도시의 지하수 수질 자료를 이용하여 수리 화학적 분석과 다변량 분석의 상관분석, 요인분석, 군집분석을 실시하였다. Liaoning성의 지하수에서 Cl와 Na 함량이 매우 높게 나타났으며, 이는 해수 침입에 의해서 지하수가 상당히 오염되어 있음을 나타낸다. 요인분석 결과 해안 도시들에서는 제 1인자의 지하수 오염원은 해수가 가장 우세했으며, 제2인자는 생활하수 그리고 제3인자는 공장폐수와 관련이 있었다. 군집분석결과 그룹1은 해수로 상당히 오염된 도시들, 그룹2는 해수의 영향을 약간 받는 도시들 그리고 그룹 3은 비교적 오염이 심하지 않는 내륙도시들로 구분되어졌다. 본 연구의 결과는 지하수 오염의 복원 및 오염의 방지에 대한 기초정보를 제공함으로써 향후 오염대책에 대한 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

주제어: Liaoning, 지하수, 해안도시, 군집분석, 해수침입

1. 서론

생활수준이 높아질수록 깨끗한 물에 대한 수요는 증가하고 있으며, 양질의 물을 확보하는 것이 중요한 과제임에는 틀림없다. 그러나, 도시화로 인한 인구 집중, 각종 산업시설과 교통량의 증가로 자연환경의 자정 능력은 약해지고 있어 양질의 물을 충분히 확보하는 것은 날로 어려워지고 있다(Rheem & Choi, 2004). 이 뿐만 아니라 지표수와 더불어 수자원의 한축을 이루는 지하수 자원의 중요성도 증가되고 있으나, 실제 난개발로 인하여 지하수 보존은 더욱 어려워진 상황이다. 지하수 보존을 위해서는 정기적으로 지하수 수질 조사를 실시해서 이를 통한 객관적인 지하수 실태의 파악 및 관리를 해야만 한다. 이러한 지하수 수질 조사에 관한 방법으로는 다양한 통계방법들이 적용된다.

다변량 통계분석은 지하수의 화학 성분 자료를 이용하여 해석하는 방법으로서 이에 대한 연구들이 최근 들어 활발하게 이루어지고 있다(Ham, *et al.*, 2011). 이 다변량 통계분석은 시·공간적 자료를 수집하여 이들의 분포 특성과 그 상관관계성을 분석하는 것이며, 수질 정보를 이용하여 요인 분석을 함으로써 지하수 수질의 각각의 특징을 분석하는 것이다(Kim, *et al.*, 2009).

본 연구는 중국 환경연구원과 Liaoning성 수리부에서 조사한 Liaoning성의 각 도시의 (2009~2014) 5년간 140개 지점에 대한 Liaoning성 지역 지하수 수질 데이터를 가지고 기술통계, 다변량 통계분석(Multivariate statistical analysis)의 상관분석(Correlation) 및 요인분석(Factor analysis) 그리고 군집분석(Cluster analysis)등을 실시하였다. 이를 통하여 Liaoning성 지역 지하수 수질을 종합적으로 분석하고, 중국 Liaoning성 지역 지하수의 수질 특성을 이해하여 지하수 수질 관리에 관한 기초 자료를 제공함으로써 오염개선에 도움을 주고자 한다.



<Figure 1> The Selected Study Area (Liaoning, China)

II. 연구 방법

1. 수질데이터

본 연구에 사용된 지하수 수질 자료는 중국 Liaoning성 수리부에서 2009년에서 2014년까지 Shenyang, Dalian, Anshan, Jinzhou, Huludao, Panjin, Yingkou, Dandong, Liaoyang, Chaoyang, Benxi, Fuxin, Fushun, Tieling 14개 도시의 140개 지점에서 조사한 것이다. 각 지역 조사 지점에서의 위치는 지하 10m 안에서의 생활 및 농경 용수를 위한 피압대수층 지역으로 한정하였다. 다변량 통계 분석에 사용된 수질 항목은 pH, Cl, Na, K, Mg, Ca, Mn, TDS, SO₄, EC(electrical conductivity), TH(total hardness), Fe, NH₃-N 등으로 총 13개의 수질 항목을 적용하였다.

2. 상관분석

상관분석이란 변수들 간의 관련성을 분석하기 위하여 사용하는 분석 방법으로써 하나의 변수가 다 변수와의 관련성과 어느 정도의 관련성이 있는지를 알아보기 위한 분석기법이다(Kim, *et. al.*, 2008).

상관분석에서 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)는 보편적으로 이용되는 척도이며, 상

관계수 r 로서 나타낸다. 상관계수 r 은 -1에서 +1까지의 값을 가지고, 측정된 자료가 좌표상에 정(positive, +)의 기울기를 갖는 직선에 가깝다면 그때의 상관계수는 정(+)이고, 음(negative, -)의 기울기를 갖는 직선에 가깝다면 음(-)의 상관계수를 갖는다. 그리고 선형적인 상관관계를 갖지 않는 경우 상관계수는 0에 가까워진다.

다변량 모집단으로부터 얻은 크기 n 의 확률표본을 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ 이라 할 때, X 와 Y 의 분산에 대한 불편추정량은 각각,

$$S_X^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (1)$$

$$S_Y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (2)$$

이고, 마찬가지로 X 와 Y 의 공분산에 대한 불편추정량은 다음과 같다.

$$S_{XY} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \quad (3)$$

식 (1)에서 식 (3)을 통하여 표본상관계수 r 을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$r = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4)$$

여기서, S_{XY} 는 표본으로부터 얻어진 X 와 Y 의 공분산이며, S_X 는 X 의 표본표준편차, S_Y 는 Y 의 표본 표준편차이다.

또한, 두 변수간의 상관계수(r)의 절대값이 1.00이면 완전한 상관관계, 0.90이면 매우 높은 상관관계, 0.70~0.80이면 높은 상관관계, 0.50~0.60이면 보통의 상관관계, 0.40이하이면 약한 상관관계가 있다고 해석할 수 있다.

3. 요인분석

요인분석은 관측된 p 개의 변수군(x_1, x_2, \dots, x_p)의 공분산 또는 상관계수가 p 보다 적은 k 개의

관측불가능한 잠재변수군(f_1, f_2, \dots, f_k)에 의해 설명이 가능한지의 여부를 조사하는 것이다. 즉, 관측된 변수간의 상관성은 공통적인 요인(common factors)이라고 불리는 잠재변수를 공유함으로써 모든 관측변수들은 요인들의 함수로 표현되며, 개별 관측변수에서 요인들로서 설명이 불가능한 부분은 고유요인(unique factor)이라 나타낸다. 따라서 잠재변수군의 값이 주어진 상황에서 관측된 변수간의 조건부 편상관계수(partial correlation)의 값은 0이 된다. 최적의 요인분석모형은 이러한 설정에 부합하는 가장 적은 수의 잠재변수로 구성되어야 하며, 요인들은 단순할 뿐만 아니라 해석 가능하여야 한다.

분석자료의 요인분석 적합성을 평가하기 위하여 Kaiser, Meyer, Olkin (KMO) 측정과 Bartlett test of sphericity가 수행되었으며, 각 요인의 요인부하량의 분산을 최대화하기 위하여 베리맥스 직각회전 방식이 이용되었다.

4. 군집분석

군집분석은 데이터 구조를 이해하는 유효한 수단으로서, 그 데이터를 구성하고 있는 관측대상을 특정 기준에 따라서 분류하기 위한 통계적 기법이다.

군집분석은 요인분석과는 달리 상호 관련성이 있는 분석대상들을 서로 동질적인 집단으로 묶어주어 몇 개의 군집군으로 나타내어 분석하는 방법이다. 군집분석의 중요 절차는 첫째, 군집의 대상이 무엇인가를 결정하고 그에 따라 설명변수 중 사용할 변수를 선택하여야 한다. 둘째, 군집분석을 위한 변수들의 단위는 같아야 하고 표준화하여 사용하는 것이 일반적이다. 셋째, 변수들의 유사성 거리를 측정하여 거리행렬로 변환한다. 넷째, 군집화 방법을 선택하여 분석한다. 다섯째, 군집결과를 해석하고 결과에 만족하지 못하면 다시 첫 번째 단계로 돌아가서 조건과 군집화 방법을 달리하여 분석한다. 여섯째, 군집화 정보에 따라 다른 통계분석을 확장하여 분석한다.

지하수 수질연구에 대한 다변량 통계분석을 실시한 본 연구에서는 요인분석의 결과로 나온 요인의 주성분 점수를 이용하여 군집분석을 실시하였다.

III. 결과 및 분석

1. 화학적 분석

Liaoning성의 140개 지점의 약 11만개 지하수 시료 중에서, 지하수 오염과 직접 연관된 화학적 원소인 pH, Cl, Na, K, Mg, Ca, Mn, TDS, SO₄, EC(electrical conductivity), TH(total hardness), Fe, NH₃-N 등을 분석하였다.

Liaoning성의 지하수 pH 평균치는 6.5로 측정되었고, pH 최대값은 9로서 Jinzhou시에 나타났고, pH

최소값은 4.2로서 Liaoyang시에서 나타났다. Cl의 평균치는 2423.8ppm이고 최대값은 20,800ppm으로서 Yingkou시에서 나타났으며, 이 값은 바닷물의 Cl 농도와 거의 비슷한 수준으로서 매우 높게 나타났다. Cl 농도의 최소값은 2ppm으로 Fushun시에서 나타났다. NH_3-N 의 평균치는 6.12ppm이며, 최대값은 50ppm으로서 Jinzhou시에서 나타났고, 최소값은 0.01ppm로 Anshan시에서 나타났다. Na의 평균치는 1,035ppm이고, 최대값은 1,100ppm으로서 Yingkou시에서 나타났다.

해안도시인 Dalian시의 경우 지하수가 해수의 영향을 많이 받고 있기 때문에 Cl와 Na 성분이 매우 높게 나타났다. 지하수의 화학적 성분 중에서 기준치를 초과하는 평균치 값을 갖는 도시는 주로 해안도시에서 나타났다. 즉, Dalian시의 경우 Cl, SO_4 , TH, Na, Mg, K, Ca, Mn, NH_3-N , Fe의 값이 높게 나타났고, Dandong시의 경우 NH_3-N , Fe의 값이 높게 나타났으며, Huludao시는 Cl, Na, Ca, NH_3-N 의 값이, Jinzhou시는 Cl, Mg, Na, K, Ca, Fe, NH_3-N 의 값이, Panjin시는 Fe, Ca, NH_3-N 의 값이, 그리고 Yingkou시는 NH_3-N , Cl, Ca, Mg, Na, Fe의 값이 평균치를 초과하였다.

2. 상관성 분석

상관분석은 두 변수 간에 상관관계가 존재하는지를 파악하고 상관관계의 정도를 측정하는 것이다. 상관계수는 한 변수가 증가할 때 다른 변수도 증가하는지, 아니면 오히려 감소하는지, 혹은 변화가 없는지를 밝히고, 그 정도를 추정하며, 변수들 간의 관계 정도와 방향을 나타낸다. <Table 1>과 <Table 2>는 Liaoning성 Dalian시와 Shenyang시의 지하수 수질의 상관관계성을 나타낸다.

<Table 1> Correlation Matrix of Ground Water in Dalian, Liaoning

	EC	pH	TH	TDS	Cl	NH_3-N	SO_4	Fe	Mn	Na	K	Ca	Mg
EC	1												
pH	.187	1											
TH	.995	.195	1										
TDS	.997	.178	.994	1									
Cl	.998	.173	.993	.996	1								
NH_3-N	-.050	.389	-.045	-.061	-.064	1							
SO_4	.995	.165	.992	.992	.995	-.095	1						
Fe	-.026	-.195	-.032	-.025	-.026	-.036	-.033	1					
Mn	.773	-.058	.779	.772	.776	-.024	.787	.189	1				
Na	.960	.198	.948	.953	.959	-.055	.950	-.030	.720	1			
K	.944	.205	.931	.934	.942	-.056	.936	-.033	.703	.988	1		
Ca	.915	.357	.910	.905	.911	.121	.901	-.070	.675	.945	.937	1	
Mg	.951	.195	.941	.944	.951	-.062	.946	-.032	.726	.993	.987	.947	1

<Table 1>에서 보면 Dalian시의 지하수 수질 항목의 상관관계가 전체적으로 변수간의 상관성이 높게 나타났다. 즉, Cl와 EC 간의 상관계수는 0.998이고, Na과 Cl는 0.959로서 상당히 높게 나타났다. 반면에 Fe와 NH_3-N 는 다른 항목간의 상관성이 낮게 나타났다.

<Table 2>에서 Shenyang시의 경우 EC와 각 4가지 원소(TDS, Cl, Na, Mg)의 상관계수가 높게 나타났으며, TH와 Ca의 상관성도 0.91로 높게 나타났다. 각 지역별로 원소별 상관성의 정도가 다르게 나타나는 것은 각 지역별 오염원의 차단에 있어서 상당한 도움을 줄 것으로 판단된다.

<Table 2> Correlation Matrix of Ground Water in Shenyang, Liaoning

	EC	pH	TH	TDS	Cl	NH ₃ -N	SO ₄	Fe	Mn	Na	K	Ca	Mg
EC	1												
pH	.092	1											
TH	.967	.059	1										
TDS	.984	.081	.953	1									
Cl	.798	.091	.688	.786	1								
NH ₃ -N	.282	.282	.182	.253	.372	1							
SO ₄	.671	-.123	.683	.701	.442	.074	1						
Fe	-.206	-.326	-.225	-.180	-.227	-.106	.132	1					
Mn	.416	-.198	.511	.416	.061	-.047	.306	.016	1				
Na	.824	.097	.765	.817	.746	.386	.565	-.115	.206	1			
K	.593	.208	.464	.583	.725	.511	.214	-.244	-.132	.610	1		
Ca	.901	.111	.906	.879	.688	.212	.599	-.305	.319	.755	.581	1	
Mg	.749	-.110	.790	.755	.436	.024	.574	-.007	.675	.622	.174	.642	1

3. 요인분석에 의한 결과

지하수 특성을 파악하기 위하여 현장측정 수질과 관련된 변수들을 이용하여 요인분석을 실시하였다. 요인분석은 여러 변수의 상호관계로부터 공통변량을 구하고 측정치의 중복성을 찾아내어 몇 개의 기본적인 변수 즉, 몇 개의 변수군을 추출해내는데 이용하는 기법이다(Nam, 2003).

본 연구에서는 인자추출에서 고유치가 1.0보다 큰 인자만을 선택했으며 인자부하량은 0.5이상일 때만 선택했다. 경우에 따라 변수들의 부하량이 여러 인자에 분산되어 있어 각 변수가 어느 인자에 속하는지를 구분하기 어려운 상황도 발생하였다. 이런 경우 각 변수들을 어느 한 특정한 인자에 높게 부하하도록 하고 나머지 인자들에게는 낮게 부하되도록 하는 varimax 방식으로 회전시켜 분석하였다.

<Table 3>은 Shenyang시의 지하수 성분들의 상관성을 가지고 나타낸 요인분석 결과이고, 요인분석은 지하수의 주요 오염원을 찾기 위하여 수행되었다. Kaiser- Meyer- Olkin 측정치는 0.87로 나타났으며, 일반적으로 이 값이 0.6이상이면 요인 분석을 실행할 수 있다. 또한, bartlett test of sphericity을 통해서 상관성행렬이 단위행렬을 형성하지 않았기 때문에 본 연구의 지하수 자료들은 요인분석을 함에 있어 적절하다는 것이 판명됐다(Kim & Chung, 2011).

<Table 3>은 고유치가 1.0 이상 되는 요인들 중에서 3개의 인자를 선택하였다. 요인부하량을 'strong', 'moderate', 'weak'으로 분류하였으며, 요인부하량의 절대치를 기준으로 그 값이 0.75 이상, 0.75-0.5, 0.5-0.3 인 구간으로 각각 설정하였다(Kim & Chung, 2011).

<Table 3> Factor for Compositional Variables in Shenyang, Liaoning

Components	Factor		
	1	2	3
Mg	0.92	0.01	-0.05
TH	0.90	0.37	0.11
TDS	0.84	0.50	0.07
EC	0.83	0.52	0.10
Ca	0.76	0.50	0.18
Mn	0.75	-0.37	-0.02
SO ₄	0.70	0.25	-0.31
Na	0.64	0.60	0.03
K	0.17	0.87	0.17
Cl	0.47	0.74	0.08
$NH_3 - N$	-0.05	0.63	0.18
Fe	-0.11	-0.11	-0.82
pH	-0.10	0.16	0.76
Eigen variance	7.17	2.18	1.14
% of Variance	51.18	15.60	8.17
Cummulative%	51.18	66.77	74.95

이들 3개의 인자는 전체 변량의 74.95%를 차지하였고, 제1 인자는 고유량이 7.165로서 전체 변량의 51.18%를 차지하였으며, 관련된 변수로는 Mg(0.92), TH(0.90), TDS(0.84), EC(0.83), Ca(0.76), Mn(0.75), SO₄(0.70), Na(0.64)이 있다. 이들 원소들은 일반적 수질 원소와 관련이 있기 때문에 본 연구에서는 “일반 수질 인자”로 명명하였다. 제2 인자는 고유량이 2.18로서 전체 변량의 15.60%를 차지하였으며 관련된 변수로는 K(0.87), Cl(0.74), $NH_3 - N$ (0.63)이 있고, 이 원소들은 생활하수 물질과 관련이 있기 때문에 “인위적 부영양화 오염 인자”로 명명하였다. 제3인자에는 Fe(0.82)와 pH(0.76)가 포함되었으며, “중금속인자”로 명명하였다.

<Table 4>는 Dalian시의 지하수 성분들의 상관성을 가지고 나타낸 요인분석 결과이고, 지하수 수질의 요인들에 대한 각 항목의 부하량은 각 요인들의 고유값을 나타낸다. 고유값 1 이상인 3개 요인은 총 분산율의 86.52%를 차지하고 있고, 요인 1의 전체분산의 비율은 67.75%이고, 요인 2는 11.09%이다. 요인 3은 7.68%로서 나타내고 있다. 이는 Liaoning성 Dalian시 지역의 지하수 수질이 대체적으로 요인 1과 관련된 화학적 성분으로 되어 있다는 것을 나타낸다. 요인 1은 EC, Cl, TDS, Na, Mg, K, Mn 그리고 SO₄가 0.8 이상의 부하량을 보이며, Cl은 0.99로서 최대값을, $NH_3 - N$ 은 0.06으로 최소 부하량을 갖는다.

0.75이상 부하량을 보이는 항목은 요인 2에서 $NH_3 - N$ 와 pH가 있고 요인 3에서는 Fe가 해당된다. 요인 1에서 부하량이 높은 변수들은 Na, Cl, Mg이고 이들 변수의 부하량은 9.49로서 상당히 높게 나타났다. 이들 변수들은 해수와 관련된 화학적 원소이고, Dalian시가 바다와 근접해 있기 때문이라고 판단되며, 또한 해수의 침입이 지하수 쪽으로 상당히 진행되고 있음을 나타낸다.

<Table 4> Factor for Compositional Variables in Dalian, Liaoning

Components	Factor		
	1	2	3
EC	0.99	0.02	-0.10
Cl	0.99	0.01	-0.10
SO4	0.98	-0.02	-0.12
TDS	0.98	0.01	-0.10
TH	0.98	0.03	-0.11
Na	0.97	0.03	-0.12
Mg	0.97	0.03	-0.12
K	0.96	0.04	-0.13
Ca	0.92	0.24	-0.18
Mn	0.83	-0.08	0.21
$NH_3 - N$	-0.06	0.89	0.17
pH	0.14	0.75	-0.45
Fe	0.08	-0.05	8.32
Eigen variance	9.49	1.55	1.08
% of Variance	67.75	11.09	7.68
Cummulative%	67.75	78.84	86.52

요인 3에서 높은 부하량을 보이는 Fe의 경우 폐기물에 의하여 그 농도가 높아지는 것으로 판단된다. 이는 요인 3은 주로 지면에서 인간의 인위적인 오염과 관련된 화학적 작용에 영향을 받았음을 나타낸다. 요인 3은 요인 2와 거의 비슷한 크기의 고유값을 가지는 것으로 보면 그 작용의 정도가 요인 2가 나타내는 화학적 작용과 거의 유사할 것으로 해석된다.

4. 군집분석에 의한 결과

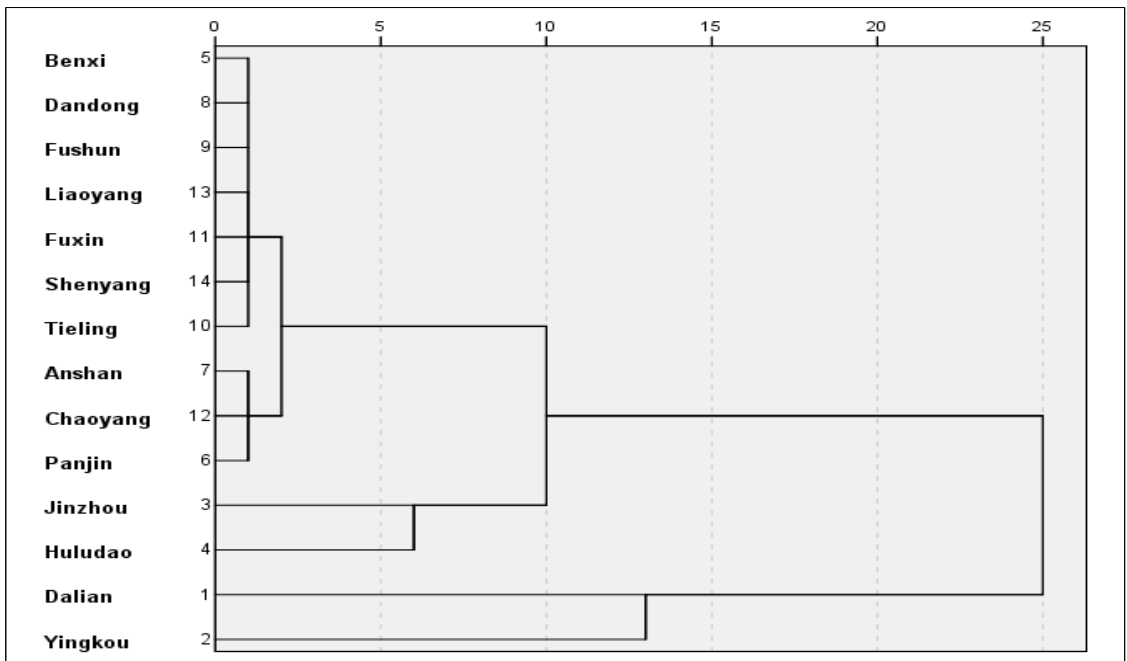
요인분석의 결과 얻어진 요인 고유치 값(<Table 5>)을 이용하여 수질 특성에 유사성을 갖고 있는 도시들끼리 군집하기 위하여 군집분석을 실행하였다. 군집의 수를 결정하는 방법에는 RMSSTD(rootmean -square standard deviation), SPR(semi -partial R²)의 증가 폭이 큰 지점에서 결정하는 방법, R²의 감소 폭이 큰 지점에서 결정하는 방법, CCC(cubic-clustering criterion)값이 급격히 감소하는 지점에서 결정하는 방법 등이 있다. 대체적으로 첫 번째 방법인 RMSSTD가 군집을 분류하고자 할 때 많이 사용된다. RMSSTD에서의 작은 계수는 동질적인 군집이 결합되었다는 것을 의미하고 큰 계수는 매우 다른 군집들이 결합되었다는 것을 의미하므로, 계수가 크게 바뀌고 있는 지점에서 군집의 수를 결정하는 것이 타당하다(Ko, *et. al.*, 2005).

따라서 수질관측지점을 수질특성별로 너무 세분화해서 군집화 하는 경우 군집분석의 의미가 상실된다는 점을 고려하여 본 연구에서는 2~4 개의 군집으로만 분류하여 적용하였다.

<Table 5> Initial Eigenvalues of Comprehensive Score in Liaoning Cites

Measurement	Score	Sorting
Dalian	1.94	1
Yingkou	1.35	2
Jinzhou	0.84	3
Huludao	0.07	4
Benxi	-0.30	5
Panjin	-0.31	6
Anshan	-0.34	7
Dandong	-0.37	8
Fushun	-0.37	9
Tieling	-0.41	10
Fuxin	-0.41	11
Chaoyang	-0.50	12
Liaoyang	-0.57	13
Shenyang	-0.62	14

<Figure 2>는 Liaoning성 14곳 도시의 군집 분석한 결과를 나무구조그림(dendrogram)으로 도식화한 것이다



<Figure 2> The Dendrogram of The Clustering Process

2개의 군집으로 분류하였을 경우에는 Dalian시-Yingkou시의 군집 1과 나머지 12도시의 군집 2로서 분류되며 두 집단 간에 서로 다른 수질특성을 나타내는 것을 의미한다. 3 개의 군집으로 분류하였을 경우에는 Dalian시-Yingkou시의 군집 1, Huludao-Jinzhou시의 군집 2, 그 외 10도시의 군집 3으로 분

류되며, 세 집단 간에 수질특성이 상이함을 나타낸다. 이와 더불어 4개의 집단으로도 분류할 수 있으나, 고유치 값의 흠어짐을 방지하기 위하여 본 연구에서는 3개의 집단으로 분류하여 오염원의 정보를 파악하였다.

우선 A그룹으로서 Dalian시와 Yingkou시가 포함되며, 지하수 수질이 해수 침입으로 인해 해수에 의해 상당히 오염된 지역임을 나타낸다. B그룹은 Jinzhou시와 Huludao시가 포함되며, 일반적으로 해수에 오염된 지하수 수질그룹이라고 할 수 있으며, A 그룹보다는 덜 오염된 지역임을 나타낸다. 그 외 10개의 다른 도시는 내륙의 인위적인 것으로 인해 지하수가 오염된 지역임을 나타낸다(Huh, 2005).

위 결과와 같이 요인분석 점수에 대한 결과는 Dalian시(1.94), Yinkou시(1.35), Jinzhou시(0.84), Huludao시(0.07), Benxi시(-0.30), Panjin시(-0.31), Anshan시(-0.34), Dandong시(-0.37), Fushun시(-0.37), Tieling시(-0.41), Fuxin시(-0.41), Chaoyang시(-0.50), Liaoyang시(-0.57), Shenyang시(-0.62)의 순으로 나타났으며, Dalian시가 1.94로 가장 오염이 심각한 도시이고, Shenyang시는 -0.62로서 오염 정도가 가장 낮은 도시로 나타났다.

IV. 결론

본 연구는 중국 Liaoning성 14개 도시에 대한 2009년~2014년까지 5년간 측정된 지하수 수질 자료를 이용하여 수리 화학적 분석과 다변량분석의 상관분석, 요인분석, 군집분석을 실시하였다. Liaoning성의 지하수 성분 중에서 수질 원소의 평균치가 기준치를 초과하는 것은 Mn, NH_3-N , Fe, Ca, Mg, Na 등으로 나타났으며, 특별히 해안도시인 Dalian시, Yingkou시, Jinzhou시, Huludao시의 지하수에서 Cl와 Na 함량이 매우 높게 나타났다. 이는 해수 침입에 의해서 지하수가 상당히 오염되어 있음을 나타낸다.

지하수 성분들 간의 상관성 분석에 의하면 Dalian시의 지하수 수질 항목의 상관관계가 전체적으로 변수간의 상관성이 높게 나타났으며, Shenyang시의 경우 EC와 각 4가지 원소(TDS, Cl, Na, Mg)의 상관계수가 높게 나타났으며, TH와 Ca의 상관성도 0.91로 높게 나타났다. 각 지역별로 원소별 상관성의 정도가 다르게 나타나는 것은 각 지역별 오염원의 차단에 있어서 상당한 도움을 줄 것으로 판단된다.

상관성 분석을 바탕으로 요인분석을 한 결과 Liaoning성의 해안 도시들은 제 1인자의 지하수 오염원은 해수가 가장 우세하며, 제2인자와 제3인자는 해수와는 무관하고 도시 생활하수와 연관된 NH_3-N 의 생활폐하수, 그리고 강철 공장이나 폐기물 매립지에서 유래되는 Mn, Fe과 관련이 있었다. 따라서, 요인분석을 통해서 Liaoning성 지하수의 주요 오염 성분과 오염물질이 규명되었다.

요인분석의 결과로 얻어진 요인점수를 이용하여 수질 특성에 유사성을 갖고 있는 도시들끼리 군집하기 위하여 군집분석을 시행하였다. 군집분석 결과 3개의 그룹으로 구분되어졌다. 첫째로 그룹1은 해

수로 상당히 오염된 Dalian시와 Yingkou시이고 해수에 의한 영향을 가장 크게 받는 도시들이다. 그룹 2는 해수의 영향을 약간 받는 도시로서 Jinzhou시와 Huludao시이다. 그룹 3은 Anshan시 등을 포함한 10개 도시들이며 비교적 오염이 심하지 않는 내륙도시들이다. 중국 Liaoning성을 요인점수로 순서화 하면, Dalian시(1.94), Yinkou시(1.35), Jinzhou시(0.84), Huludao시(0.07), Benxi시(-0.30), Panjin시(-0.31), Anshan시(-0.34), Dandong시(-0.37), Fushun시(-0.37), Tieling시(-0.41), Fuxin시(-0.41), Chaoyang시(-0.50), Liaoyang시(-0.57), Shenyang시(-0.62)순서로 오염 수준이 나타났다.

Dalian시가 해수침입에 의한 오염을 나타내는 요인점수 1.94로 가장 크게 나타났고 반면에 Shenyang시는 제일 낮은 -0.62로 오염이 가장 적게 나타났다.

이상의 결과로부터 중국 Liaoning성 지하수에 대한 다변량통계의 상관분석, 요인분석, 군집분석과 수리화학 분석 등의 기법을 통해서 지하수 수질 오염원과 오염물질이 규명되었으며, 이 결과를 바탕으로 지하수 오염의 복원 및 오염의 방지에 대한 기초정보를 제공함으로써 향후 오염대책에 대한 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

References

- Ham, Jong-Hwa, Chun-Gyung Yoon, Yeong-Kwon Son, and Joon-Sik Kim. 2011. Evaluation of Water Quality Properties in Agricultural Reservoirs using Multivariate Analysis. *Life and Environmental Research of Korea*. 33(1): 42-45.
- Huh, M. H. 2005. Multivariate Data Analysis for Social Sciences. Paju: Freedom Academy.
- Nam, Kie-Chang. 2003. An Factor Analysis of Groundwater in Chongju City. *Korean Journal of Sanitation*. 18(4): 6-14.
- Kim, Tae-Hyung and Sang-Yong Chung. 2011. Applivation of Multivariate Statistical Analysis for the Evaluation of Groundwater Contamination Characteristics at the Suyeong-gu of Busan city. *Korea. Journal of the Geological Society of Korea*. 47(1): 45-58.
- Kim, Jin-Ho, Chul-Mann Choi, Jong-Sik Lee, Sun-Gang Yun, Jung-Taek Lee, Kwang-Rae Cho, and Su-ung Lim. 2008. Characteristics of Groundwater Quality for Agricultural Irrigation in Plastic Fim House Using Multivariate Analysis. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 27(1): 1-9.
- Ko, Kyung-Seok, Yongje Kim, Dong-Chan Koh, Kwang-Sik Lee, Seung-Gu Lee, Cheol-Hee Kang, Hyun-Jeong, and Won-Bae Park. 2005. Hydrogeochemical Characterization of Groundwater in Jeju Island Using Principal Component Analysis and Geostatistics.

Ecological Environmental Geology. 38(4): 435-450.

- Kim, Min-Kyeung, Seung-Hwa Choi, Jae-Eun jun, Sang-Min Han, and Kyung-Sim Lee. 2009. Statistical Analysis of Groundwater Quality in Busan. *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment*. 19(1): 142-153.
- Rheem, Chongho and Miyeong Choi, 2004 A Study on the Factor Analysis and Water Properties of Groudwater in Ansan City. *The Geological Society of Korea*. 38(3): 307-318

Korean References translated from the English

- 고경석, 김용제, 고동찬, 이광석, 이승구, 강철희, 성현정, 박원배. 2005. 주성분분석과 지구 통계법을 이용한 제주도 지하수의 수리지화학 특성연구. *자원환경지질*. 38(4): 435-450.
- 김민경, 최성화, 정재은, 윤나나, 한상민, 이경심. 2009. 부산지역 지하수 수질의 통계적 분석. 부산광역시보건환경연구원 연간보고서. 19(1): 142-153.
- 김진호, 최철만, 이종식, 윤순강, 이정택, 조광래, 임수정, 최승출, 이경자, 권의석, 경기천, 엄미정, 김희권, 이유석, 김찬용, 이성태, 류중수. 2008. 다변량분석법을 이용한 시설재배지 지하수 수질 특성. *한국환경농학회지*. 27(1): 1-9.
- 김태형, 정상용. 2011. 다변량 분석을 이용한 부산 수영구 지하수 오염특성 평가. *한국지질학회지*. 47(1): 45-58.
- 남기창. 2003. 청주시 지하수의 인자분석. *한국위생학회지*. 18(4): 6-14.
- 임종호, 최미영. 2004. 안산시 지하수에 대한 특성과 인자분석. *지리학연구지*. 38(3): 307-318.
- 함중화, 윤춘경, 손영권, 김준식. 2011. 다변량 분석법을 이용한 농업용 저수지의 수질 평가. *생명환경연구지*. 33(1): 39-47.
- 허면희. 2005. 사회과학을 위한 다변량 자료 분석. 서울: 자유아카데미.

완자손: 청주대학교에서 공학석사(토목공학 전공) 학위를 취득하고, 현재 청주대학교 토목공학과에서 연구원으로 재직 중이다(wzynl80591036@gmail.com)

도현승: 미네소타 대학교에서 공학박사(토목공학 전공) 학위를 취득하고, 현재 청주대학교 토목공학과에서 교수로 재직 중이다. 주요 논문으로는 “An Aalgorithm for Globally Minimizing a Concave Function Over a Parallepiped”, “Effect of Polymeric Binder in Iron Ore Pelletization ” 등이 있으며, 관심 분야는 환경수질분석 등이다(dhs8470@cju.ac.kr).

김성덕: 중앙대학교에서 공학박사(하천 및 해안공학 전공) 학위를 취득하고, 현재 충북대학교 토목공학부에서 외래교수로 재직 중이다. 주요 논문으로는 “Simulation of Seawater Intrusion Range in Coastal Aquifer using

FEMWATER Model for Disaster Information”, “사면에서 토석류와 소단폭의 관계성에 관한 연구(2013)” 등이 있으며, 관심 분야는 토석류, 하천 및 해안 방재 등이다(soungdoug@hamail.net).