

## 주성분분석기법을 적용한 온천 및 폐광산 오염원에 대한 하천수질평가

이재영<sup>1)</sup> · Yuko Sato<sup>2)</sup> · 강미아<sup>\*3)</sup> · 정교철<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, University of Central Florida, USA

<sup>2)</sup> Department of Environmental Engineering, Hokkaido University, Japan

<sup>3)</sup> 안동대학교 환경공학과, <sup>4)</sup> 안동대학교 지구환경과학과

### Assessment of River Water Quality Contaminated by Abandoned Mine and Hot-Spring using Principal Component Analysis

Jae-Young Lee<sup>1)</sup> · Yuko Sato<sup>2)</sup> · Meea Kang<sup>\*3)</sup> · Gyo-Cheol Jeong<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, University of Central Florida, USA

<sup>2)</sup> Department of Environmental Engineering, Hokkaido University, Japan

<sup>3)</sup> Department of Environmental Engineering, Andong National University

<sup>4)</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

일본의 S시는 상수원수로서 T하천을 이용하고 있으며, T하천의 수질은 비소와 보론 등의 폐광산 및 온천유래의 오염원에 의한 수질특성을 갖고 있다. 이 연구는 T하천의 수질특성에 대하여 주성분분석기법을 적용하여 분석하여 보다 용이한 하천관리 인자를 도출하고자 하였다. 이 연구에서 제시한 hexa-diagram을 이용하면, 각 수질측정지점에서의 주요 오염원을 쉽게 파악할 수 있어 하천관리에 유효한 지표로 사용될 수 있다. 또한 주성분분석을 적용하여 하천수질의 특성을 조사한 결과, 1st, 2nd, 3rd 성분들의 각 고유값은 5.30, 2.78 및 1.47로 나타났으며, 1st, 2nd, 3rd 성분들의 기여도는 각각 40.80%, 21.40% 및 11.31%로 나타났다. 그러므로 이들 주성분을 이용하면, T하천의 수질특성을 보다 정확하고 신속하게 평가할 수 있다고 판단된다. 온천수의 주요성분으로 나타나는 염소이온은 정수처리공정에서 제거하기가 곤란한 비소와 보론의 관계에서 매우 높은 상관관계를 나타내어 염소이온농도를 이용한 하천관리는 비소와 보론 분석에 드는 시간적, 경제적인 부하를 저감하여 보다 신속한 처리가 가능하도록 하므로 하천수질관리의 효율을 개선할 것으로 기대한다.

주요어: 폐광산, 온천, T하천, 주성분분석, 수질

S City depends on the T River as source water for water supply. Arsenic and boron from the hot-spring wastewater discharged from the hot-spring spa resort and emerging from the fractures of bedrock of the river have been prevalent contaminant of the T River water. This research was conducted to propose the simple and quick surrogate parameter for water quality management easily. And through making hexa-diagram of principal ions in the water samples, existing state of the water and influence of the human activity or geological origin can be figured out. As a results of characteristics of the T River water quality using principal component analysis, the contributory percentages of the 1st, 2nd and 3rd principal components were 40.80%, 21.40% and 11.31%, respectively. Therefore it was clarified that the quality of the T River water could be explained by these three principal components. Concentration of the chloride ion, which is one of the characteristics of the hot-spring water, was well correlated to both arsenic and

\* Corresponding author : wdream@andong.ac.kr

boron concentrations. Hence concentrations of the arsenic and boron in the raw water of the water treatment plant can be predicted by the measurement of concentration of the chloride ion.

**Key words :** abandoned mine, hot-spring, T river, principal component analysis, water quality

## 서 언

일본 S시는 인구 18,000천명으로서 상수원수의 대부분(95% 이상)을 T하천으로부터 취수하고 있다. S시가 상수원수로 사용하고 있는 T하천 취수지점의 상류에는 폐광산이 위치하고 있을 뿐만 아니라 온천을 이용한 숙박시설과 유흥시설이 있으며, 이들은 T하천을 오염시키는 주원인으로 알려져 있다(Sato et al, 2002; 강미아와 김광태, 2005). 특히 적정처리 없이 방치된 폐광산은 산성광산폐수를 배출하여 지하수오염은 물론 인근의 토양오염도 함께 유발하는 것은 우리나라에서도 흔히 있는 환경오염 현상이며, 이들 산성광산폐수가 상수원수로 사용되는 하천수로 유입되는 경우에는 정수처리에도 어려움을 줄 수 있다.

S시의 경우, 폐광산과 온천시설로부터 발생하는 여러 오염원 중에서도 사람에게 건강위해성을 나타내는 비소(arsenic)와 보론(boron)이 하천으로 유입되므로, T하천을 이용하여 수돗물을 생산하는 S시는 T하천의 주요오염원을 관리하기 위해, T하천에서의 주요오염원 거동과 오염원 상호간의 관계를 명확히 하고자 하였다.

비소의 위해성에 대한 많은 연구는 세계보건기구(WHO)를 포함한 여러 문헌(Chakraborty et al., 1987; Smith et al., 1992; WHO, 1997; 강미아, 2003)에서도 보고되고 있으며, 특히 인도, 방글라데시 등의 국가에서 지하수에서의 비소오염은 이를 음용하는 사람들에게 암을 유발하여 사망에도 이르게 한다.

오랜 기간 동안 비소처리에 대한 연구가 진전되어 오늘날에는 산화, 응집, 막분리기술 등의 다양한 기술에 의해 수중의 비소처리효율을 개선할 수 있게 되었다(Kang et al., 2000; USEPA, 2000; Kang, 2001; Sato et al., 2002; Kang et al., 2003).

최근 우리나라에서도 폐광지역의 지하수, 하천수 및 토양에서의 중금속 오염이 보고되고 있으며, 황정성 외(2004)의 연구에서는 자연적으로 또는 인위적으로 노출되는 As(III)에 의해 오염된 지표수, 지하수가 음용수로 사용되어 인체에 대해 만성 및 급성의 치명적 독성을 나타낼 수 있다고 보고하고 있다. 실제로 가장 최근에 우리나라에서 보도된 음용수에 의한 비소

문제로서는 충남 청양군에 소재하고 있는 청송초등학교에서 음용수로 사용하고 있는 우물물에서 검출된 비소농도가 음용수 수질기준을 초과한 것으로 보도된 바 있다(www.cynews.co.kr/news, Report on 18 July 2005).

보론은 주로 해수와 온천수에서 존재하는 요소로서 지질학적 발생이 원인이 되며, 사람에게 대한 악영향에 대한 연구결과가 충분하지는 않으나 급성독성을 지닌 요소이고, 하천에서의 보론 검출은 기존의 처리방법 또는 막분리기술을 이용하더라도 처리하기가 곤란하여 수자원 이용을 어렵게 하므로 하천에서의 보론 관리는 매우 중요한 과제이다(Pieruz et al., 2004).

다변량 해석 방법(PCA)은 다수의 변수를 가진 자료를 해석하는데 있어 매우 유용한 기술이며, PCA는 여러 수질 인자 중에서 대상 하천의 수질을 대표할 수 있는 주요 인자에 대하여 각각의 고유치를 부여함으로써 다른 수질과의 관계를 수치화 하는 과정을 거친다. 그러므로 이와 같은 다변량 해석기술을 이용하면 보다 쉽게 자료를 해석할 수 있다(Buck, 1960; Mahloch, 1974; Mazlum, 1994; Mazlum et al., 1996). 그러나 우리나라의 여러 하천수질관리에 대한 연구 중에서는 다변량 해석방법을 이용한 연구가 부족한 현실이다.

따라서 이 연구에서는 다변량 해석 방법 중에서 하천의 수질분석결과 상호간의 상관성을 이용한 주성분분석을 실시하여, T하천으로 유입되는 광산폐수와 온천수의 영향을 고려한 중금속 거동을 해석하고, 하천수질의 예측에 활용하도록 하는데 그 목적이 있다.

## 시료 및 분석

### 시료 채취

T하천의 수질 조사는 1997년 12월부터 2001년 5월까지 월 1회의 주기로 시행하였다. Fig. 1에는 T하천의 시료수집 지점을 나타내었다. 그림에서 나타낸 바와 같이 T하천의 주요오염원은 상수원수 채수지점인 station 12의 상류지점에 위치하고 있는 station 1의 T광산폐수와 station 6 아래에 위치하고 있는 J온천관광지(J온천수로

칭합)로부터의 배출수이다. T광산으로부터의 배출수는 오염도에 따라 두 가지로 분류하였다. 즉, 오염된 광산폐수는 상수원수로 사용되는 station 12의 하류로 유입되도록 bypass 하고 있으며, 오염되지 않은 광산배수는 직접 T하천으로 유입하도록 하였다. 또한 A하수처리장에서는 J온천에서 유입되는 비소를 제거하기 위해 NaOCl을 이용한 산화처리와 염화철을 이용한 응집공정과 활성슬러지공정으로 운전되며, T하천의 station 9에서 합류된다.

시료는 각 지점에서 직접 0.45µm 여과지로 여과하는 방법과 여과하지 않은 방법으로 따로 구분하여 채수하였으며, 모든 시료수는 시료보존을 위해 현장에서 질산으로 pH1 이하로 조정하였다.

**분석방법**

비소의 화학형태별 분석은 무기비소화합물을 대상으로 하였으며, 기존의 연구(Kang, 2001)에서 밝힌 바와 같이 HG-ICP-AES(HVG-1, ICPS-7500, Shimadzu Corp., Japan)를 이용하여 As(III), 총As의 농도를 분석하여 총비소의 농도에서 As(III)농도를 감산하여 As(V)의 농도를 간접적으로 계산하였다. 보론과 그 외 금속은 ICP-MS(HP-4500, Agilent, USA)를 이용하여 분석하였으며, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 등과 같은 양이온은 Atomic Absorption Spectrometer(Z-6000, Hitachi, Japan)로, 그리고 음이온은 Ion Chromatography(DX-120, DIONEX, USA)를 이용하여 분석을 하였다.

**결과 및 고찰**

**비소와 보론의 오염원**

T하천 각 지점 (station 1~station 15) 에서의 비소와 보론의 농도를 최대, 최소, 평균값으로 정리하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 J온천지 바로 아래 위치하고 있는 station 7에서의 비소와 보론의 농도가 가장 높게 검출됨을 알 수 있다. Station 4, 5와 6에서도 비소와 보론은 검출되지만 두 항목 모두 검출한계 미만의 값을 나타내었다. 또한 station 6과 7 사이에는 지류가 존재하지 않으므로(Fig. 1), 이 지점에서의 고농도의 비소와 보론의 검출은 하천바닥의 기반암사이로 빠져나오는 온천수와 온천지 배수가 주요 오염원임을 알 수 있게 한다.

Table 1에는 J온천수와 T광산배수의 수질특성을 나타내었다. Table 1에 나타난 바와 같이 J온천수는 고농도의 비소와 보론(total As: 3.10 mg/L, B: 36.5 mg/L)을 함유하고 있으며, 단지 몇몇 지류에 의한 희석작용에 의해 T하천의 하류로 갈수록 농도가 낮아져, 상수원수로 사용되는 station 12에서 비소와 보론의 농도는 13µg/L, 0.26 mg/L로 검출되었다. 또한 station 15에서의 보론 농도(평균값: 0.33 mg/L)는 station 12에서의 보론 농도(평균값: 0.26 mg/L)보다 조금 높게 검출되었는데, 이것은 T광산폐수의 영향인 것으로 해석된다. 왜냐하면 Table 1에 나타난 바와 같이 T광산폐수의 수질에서 보론은 3.0 mg/L으로 높게 검출되었기 때문이다.

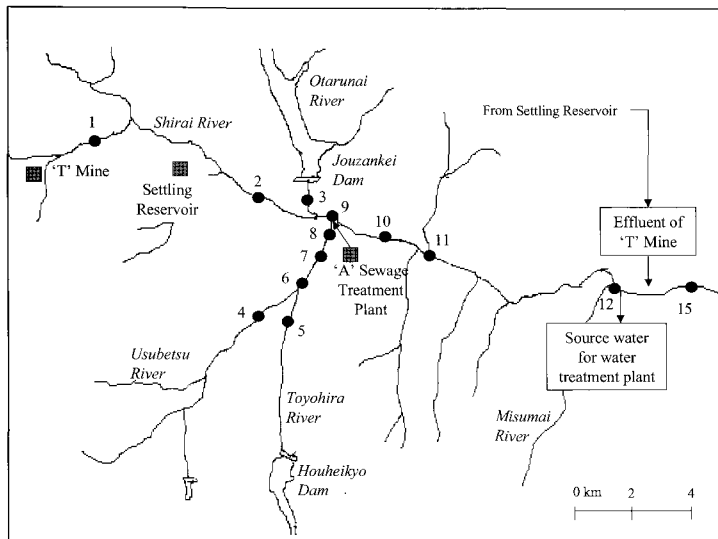
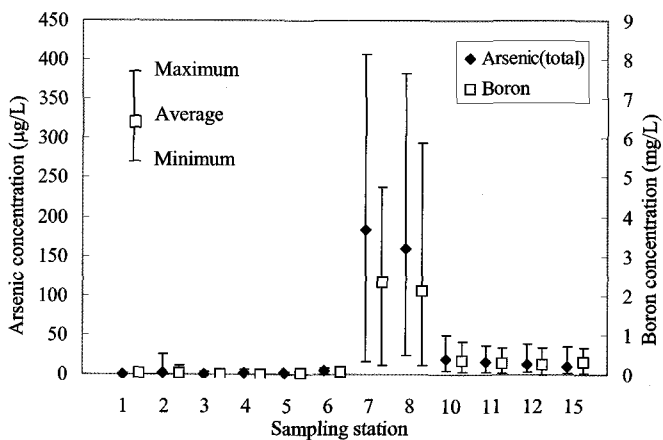


Fig. 1. Outline of T River Basin and sampling stations.



Sampling station	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	15	
Arsenic(total)	n	27	40	40	25	39	32	40	32	20	40	40	30
Boron	n	22	35	35	20	34	32	36	32	20	35	35	31

Fig. 2. Average, maximum and minimum concentrations of arsenic(total) and boron in the T River Basin.

Table 1. Characteristics of J hot-spring and T mine wastewater.

Item	Unit	J hot-spring water	T mine wastewater
As(Total)	mg/L	3.10	1.5
B		36.5	2.97
Fe		0.48	0.14
Mn		1.01	0.83
Zn		<0.001	0.24
Al		0.04	0.06
Cr	µg/L	5.3	-
Ni		1.0	-
Cu		59.8	-
Se		3.5	-
Mo		<1	-
Cd		<1	-
Sb		32.4	-
Pb		1.5	-
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	137	596
Mg <sup>2+</sup>		8	10
Na <sup>+</sup>		930	241
K <sup>+</sup>		255	61
Cl <sup>-</sup>		1594	457
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		107	1590
4.3Bx	meq/L	4.7	0.56

단, \*는 As(total) : 1.5 µg/L (As(III) : 1.5µg/L, As(V) : zero)

Table 2에는 A하수처리장에서의 오염물질 처리효율을 나타내었다. 하수처리장으로 유입되는 비소농도는 1 mg/L로 높게 검출되었는데 이것은 J온천수로부터 유래된 것이다. 그러나 A하수처리장에서의 활성슬러지-염화철 응집공정에 의해 비소의 90%가 제거됨을 알 수 있다. 이것은 A하수처리장으로 유입되는 비소의 화학적 형태는 거의 90%가 용존성 As(V)의 형태로 존재하며, 10% 정도가 As(III) 형태로 존재하기 때문이다. As(V)는 수중에서 음하전을 띠는 형태로 존재하므로 염화철에 의한 응집이 비소제거에 효과를 보인다(강미아와 김광태, 2005).

한편, 보론도 12.46 mg/L의 농도로 유입되었으나 유출수에도 그대로 방출되므로 A하수처리장의 공정으로는 보론을 전혀 제거할 수 없음을 알 수 있다. 그러므로 A하수처리장의 배수도 T하천의 비소와 보론 오염에 대한 주요 오염원으로 작용하지만, 유출수의 비소농도는 낮아 하천오염에 대한 기여도는 낮은 반면, 보론은 T하천의 주요오염원임을 명확히 알 수 있다.

**이온검출특성**

이 연구에서는 T하천수의 주요 이온들을 대상으로 육각형 다이아그램(hexa-diagram)을 도입하여 수중에 존재하는 이온들의 형태와 인간 활동의 영향 및 지질학적 이력에 의한 오염을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 각 시료채수지점과 T광산배수에서의 이온들의 평균농도를 이용하여 Fig. 3에 육각형 다이아그램을 제시하였다.

Station 1과 2에서는 특이하게도 Ca<sup>2+</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 농도가 높게 나타났는데, 이 현상은 station 1, 2의 상류에 위치하고 있는 T광산배수의 영향인 것으로 판단된다. 왜냐하면 Fig. 3에 제시한 T광산배수의 육각형 다이아그램에서 보는바와 같이 T광산배수에서는 Ca<sup>2+</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 농도가 높게 나타났기 때문이다.

Station 4에서는 station 1과 2에서의 결과와 비교할 때, Ca<sup>2+</sup>의 농도는 그다지 높게 검출되지 않았으나 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 농도는 조금 증가하였다. 이것은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 station 4의 상류지류에 함유되어 있는 유황온천의 영향으로 해석되므로 station 4에서의 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 농

**Table 2.** Characteristics of influent and effluent in a sewage treatment plant.

Item	Unit	Influent Conc.	Effluent Conc.
As(Total)	µg/L	1023	82.2
Sol. As(V)		891	49.9
Part. As(V)		57	30.4
Sol. As(III)		75	1.7
B	mg/L	12.46	13.26
Fe		0.49	0.66
Mn		0.35	0.02
Zn		0.03	<0.001
Al		0.27	0.04
Cr	µg/L	3.4	3.76
Ni		2.0	2.66
Cu		47.2	28.22
Se		1.7	1.7
Mo		1.7	1.1
Sb		7.8	5.9
Pb		2.7	3.3
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	58.11	54.24
Mg <sup>2+</sup>		5.64	5.45
Na <sup>+</sup>		411.45	355.33
K <sup>+</sup>		116.58	103.77
Cl <sup>-</sup>		605.20	608.31
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		48.05	46.29
4.3Bx	meq/L	2.53	0.91

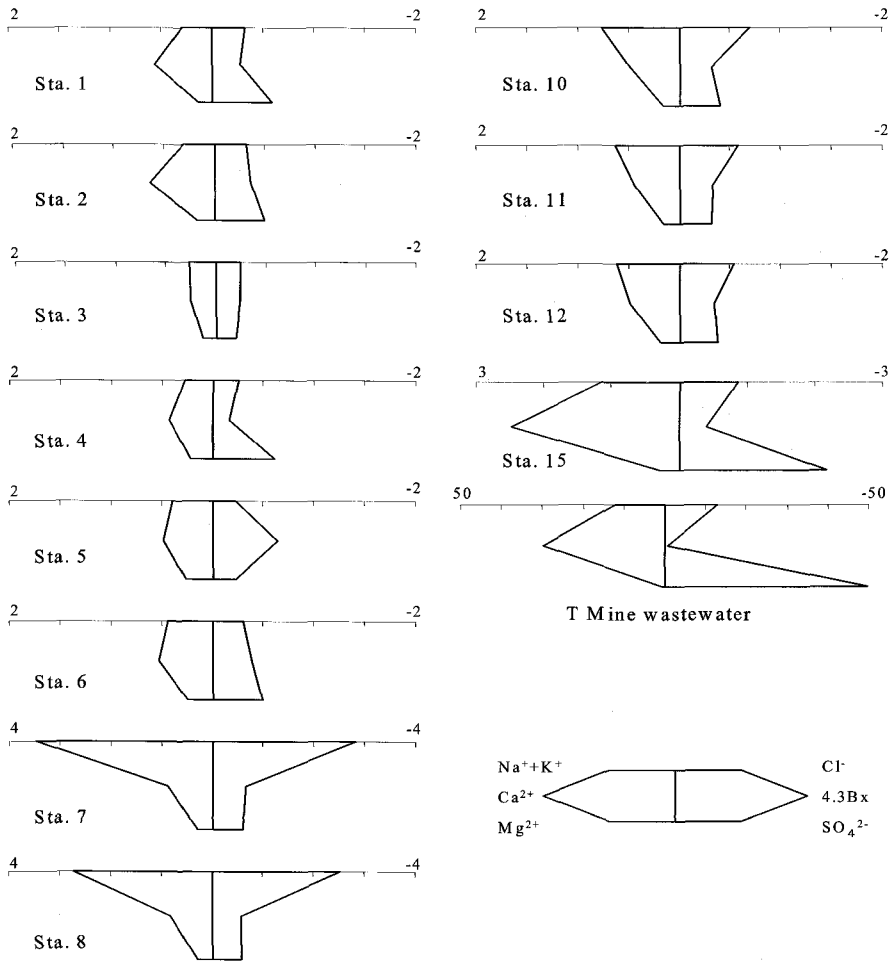


Fig. 3. Hexa-diagram of the T River Basin.

도는 온천수의 영향에 기인한 것으로 판단된다.

Station 7에서  $Na^+$ 과  $K^+$ 의 농도가 높게 나타난 것은 J 온천수에 의한 것임을 알 수 있으며, station 10 이후에서는 지류에 의한 희석작용에 의해 이들의 농도 검출에 미치는 J 온천수의 영향이 적게 나타났다. Station 15의 결과를 station 12의 결과와 비교할 때,  $Ca^{2+}$ 과  $SO_4^{2-}$ 의 농도가 높게 검출되었는데 이것은 station 1의 상류지점에 위치하고 있는 T 광산배수의 저류조로부터 station 15 앞의 위치로 광산배수가 유입되기 때문이다.

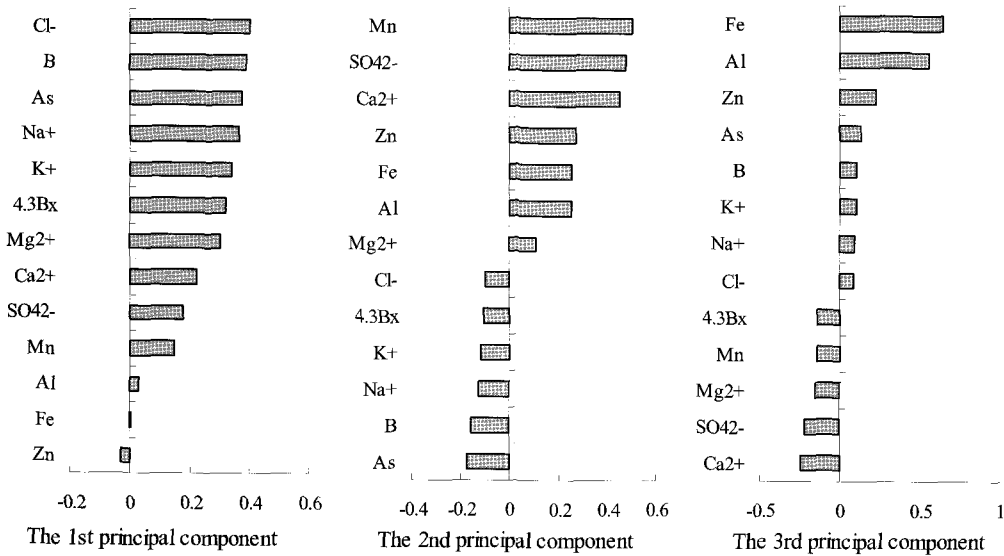
주성분분석

T하천의 수질특성을 분석하기 위하여 As, B, Fe, Mn, Zn, Al,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , Cl<sup>-</sup>,  $SO_4^{2-}$ , 4.3Bx 등의 농도를 이용하여 주성분분석을 하였다. 주성분분석에 사용된 수질자료는 1998년 7월부터 2000년 12월까지의 349개의 자료로써 station 1에서 station 15에서의 검출된 각 요소들의 평균농도들이다.

분석된 각 수질성분들 간의 상관도를 이용하여 주성분분석을 한 결과, 제1차, 2차 및 3차 주성분의 기여도를 %로 산정하여 Table 3에 나타내었다. T하천에서는 제1차, 2차 및 3차 주성분의 기여도는 제1차 주성분이 40.80%, 제2차 주성분이 21.40%, 제3차 주성분이 11.31%로 이들의 합이 75.52%를 차지하므로 이러한 3

**Table 3.** Eigenvalue of the 1st, 2nd and 3rd principal components.

Principal component	Eigenvalue	Contributory percentage	Accumulation of contributory percentage
1st	5.303717	40.80%	40.80%
2nd	2.782520	21.40%	62.20%
3rd	1.470867	11.31%	73.52%



**Fig. 4.** The eigenvector of the 1st, 2nd and 3rd principal components.

개 카테고리 주성분을 이용하여 T하천의 수질특성을 파악할 수 있다.

또한 Fig. 4에서는 제1차, 2차 및 3차 주성분의 eigenvector를 나타내었으며, 이들 주성분 분석결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 제1차 주성분은 Cl<sup>-</sup>, B, As이며, 이들은 이들 성분을 고농도로 함유하고 있는 온천수에서 기인하는 것으로 해석된다. 제2차 주성분은 Mn, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>으로 이들은 T광산배수의 영향에 기인한 것이다. 마지막으로 제3차 주성분은 Fe, Al, Zn 등으로서 이들은 J온천수와 T광산배수와 수질과는 관계가 없는 지점에서 비교적 높게 검출되므로 T하천수 본래의 수질특성으로 추정할 수 있다.

Fig. 6에서는 주성분분석기법을 이용하여 도출된 각 station의 제1차, 제2차 성분으로 수질특성을 나타내었

다. 그림에서 보는 바와 같이 온천배수의 영향을 받는 station 7과 8에서의 수질은 제1차 주성분쪽에 치중하여 나타난 반면에 T광산배수의 영향을 받는 station 15에서의 수질은 제2차 주성분쪽에 그 특성을 나타내었다. 또한 T하천 하류로 갈수록 제1차, 제2차 주성분의 영향력은 감소되어 station 11과 12에서는 음의 값을 나타내었다.

Table 4에는 J온천지 아래인 station 7에서 상수원수로 취수되는 지점인 station 12까지의 각 분석성분들의 상관계수를 나타내었다. 온천수의 특성을 잘 나타내는 Cl<sup>-</sup>의 농도는 비소농도와 보론농도와 상관계수가 각각 0.95, 0.97로써 매우 높은 상관성을 나타내었다. 분석에 있어서 기술과 시간이 요구되는 비소와 보론의 분석 대신에 이러한 상관관계를 이용하여 상대적으로 신속하고 간단히 분석할 수 있는 Cl<sup>-</sup>의 농도를 조사하여 하천

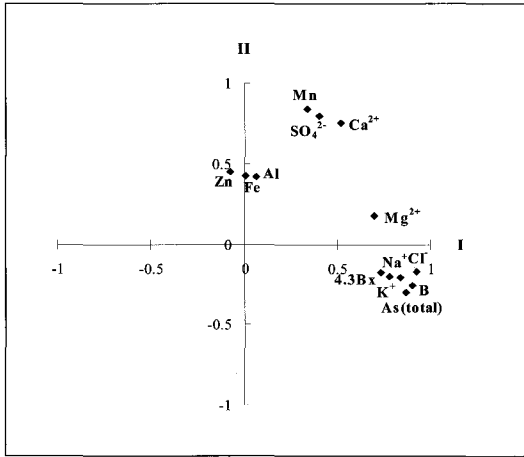


Fig. 5. Loads of the 1st and 2nd principal components.

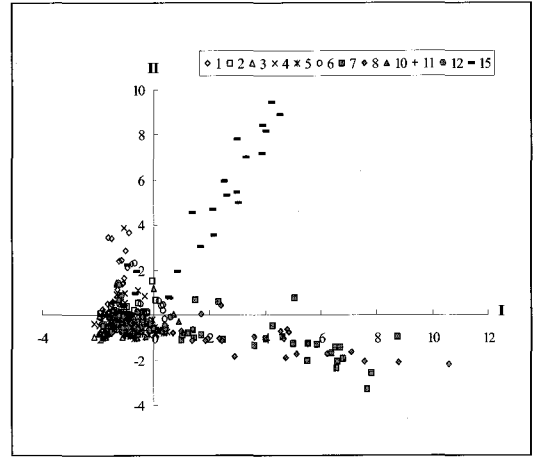


Fig. 6. Scores of the 1st and 2nd principal components.

Table 4. Correlation coefficients between conc. of inorganics(station 7~12).

	As (total)	B	Fe	Mn	Zn	Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
<b>B</b>	<b>0.95</b>											
Fe	-0.03	-0.06										
Mn	0.72	0.74	0.37									
Zn	0.03	0.02	0.30	0.21								
Al	0.05	0.06	0.67	0.35	0.13							
Ca <sup>2+</sup>	0.86	0.87	-0.02	0.66	0.05	0.04						
Mg <sup>2+</sup>	0.69	0.73	-0.04	0.62	0.07	0.08	0.72					
Na <sup>+</sup>	0.65	0.67	-0.11	0.49	0.00	-0.02	0.58	0.53				
K <sup>+</sup>	0.57	0.60	-0.07	0.46	0.01	-0.02	0.49	0.45	0.98			
Cl <sup>-</sup>	<b>0.95</b>	<b>0.97</b>	-0.06	0.73	0.02	0.04	0.87	0.75	0.68	0.59		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.51	0.55	-0.04	0.44	0.28	0.00	0.48	0.47	0.38	0.34	0.57	
4.3Bx	0.81	0.84	-0.10	0.65	0.04	-0.02	0.78	0.68	0.59	0.52	0.83	0.45

수의 비소 및 보론 농도를 추정할 수 있다. 정수처리장에서는 이를 이용하여 비소와 보론의 처리를 위해 적극적으로 대처할 수 있을 것으로 생각된다.

**결론**

폐광산 배수 및 온천수의 영향으로 오염이 되는 T하천의 주요수질을 조사하고, 주성분분석기법을 이용한

하천수의 수질을 평가하기 위해 조사된 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) T하천 수질에 영향을 미치는 주요 오염원은 비소와 보론이며, 비소는 온천수가 주요 오염원으로 작용하고, 보론은 폐광산배수를 우회(bypass)하여 상수원수로 사용되는 지점 아래로 유입하는 시스템에도 불구하고 폐광산배수가 주요 오염원이 된다.

(2) 이 연구에서 제안한 육각형 다이아그램의 모식화를 이용하면 각 지점의 수질에 미치는 오염원을 쉽게 판



악할 수 있어 하천관리에 유용하게 사용될 것으로 생각된다.

(3) T하천수의 특성을 파악하기 위해 이용된 주성분 분석기법은 고유값을 이용하여 계산한 결과, 제1차, 제2차, 제3차 주요성분의 기여도가 총 73% 이상을 나타내므로 이들 주요성분을 이용하면 본 하천의 관리가 용이할 것으로 기대된다.

(4) 조사된 각 수질항목간의 상관도를 이용하여, 비소와 보론의 농도를 대신하여 Cl<sup>-</sup>의 농도를 사용할 수 있으므로(상관계수 : 0.95 이상), 이들 비소와 보론이 주오염원으로 유입되는 정수처리장에서는 Cl<sup>-</sup>을 이용한 신속한 대처가 가능하다.

### 참고문헌

강미아, 2003, 지하수에 의한 비소노출과 건강 위해도 저감에 관한 방글라데시의 사례연구, 국립환경연구원-환경의 날 기념 국제세미나, pp. 1-23.

강미아, 김광태, 2005, 비소오염의 하천수를 상수원수로 하는 정수장에서 비소관리, 한국물환경학회 공동추계학술발표회, pp. 357-361.

황정성, 최상일, 장민, 2004, 폐광산주변 오염토양세척 유출수의 비소처리, 한국물환경학회공동추계학술발표회, pp. 855-858.

Buck, S.F., 1960, A Method of Estimation of Missing Values in Multivariate Data Suitable for Use with an Electronic Computer, The Journal of the Royal Statistics Society, 22(2), pp. 302-306.

Chakraborty, A. K. and Saha K. C., 1987, Arsenical Dermatitis from Tubewell Water in West Bengal, Indian J med Res, 85, pp. 326-34.

Kang M., Kawasaki M., Tamada S., Kamei T., Magara Y., 2000, Effect of arsenic and antimony using reverse osmosis membranes, Desalination, Issues 1-3, pp. 293-298.

Knag M., 2001, Removal of Hazardous Antimony and Arsenic using Low Pressure Nanofiltration Membranes, Doctoral Thesis, Hokkaido University, Japan.

Kang M., Chen H., Sato Y., Kamei T., Magara Y., 2003, Rapid and economical indicator for evaluating arsenic removal with minimum aluminum residual during coagulation process, Water Research, 37(19), pp. 4599-4604.

Mahloch, J.L., 1974, Multivariate Techniques for

Water Quality Analysis, J. Environ. Eng. Div. Amer. Soc. Civil Eng., 100, No. EE5, pp. 1119-1132.

Mazlum, N., 1994, Multivariate Analysis of Water Quality Data, Master of Science Thesis, Dpluz Eylul University, Graduate School of Natural Applied Sciences, Bornova, Izmir.

Nazire Mazlum, Adem Ozer, Suleyman Mazlum, 1999, Interpretation of Water Quality Data by principal Components Analysis, J. of Engineering and Environmental Science, 23, pp. 19-26.

Pieruz G., Grassia P., Dryfe R., 2004, Boron removal from produced water by facilitated ion transfer, Desalination, 167(15), pp. 417-422.

Sato Y., Kang M., Kamei T., Magara Y., 2002, Performance of nanofiltration for arsenic removal, Water Research, 36(13), pp. 3371-3337.

Smith, A. H., 1992, Cancer Risks from Arsenic in Drinking Water, Environmental Health Perspectives, 97, pp. 259-267.

USEPA, 2000, Technologies and Costs for Removal of Arsenic from Drinking Water, EPA 815-R-00-028.

WHO Working Group Meeting on Chemical Substances in Drinking Water, 1997, WHO, Geneva, April 22-26.

www.cynews.co.kr/news, Report, July 18 (2005).

투 고 일	2005년 10월 21일
심 사 일	2005년 10월 22일
심사완료일	2005년 12월 3일

이재영  
 Department of Civil and Environmental Engineering,  
 University of Central Florida, USA  
 TEL:+1-407-823-3019  
 FAX:+1-407-823-3019  
 e-mail: jylee@mail.ucf.edu

Yuko Sato  
 Department of Environmental Engineering,  
 Hokkaido University, Japan  
 TEL:+81-952-25-7589  
 FAX:+81-952-25-7589  
 e-mail: satoyu@attglobal.net

강미아  
안동대학교 환경공학과  
경북 안동시 송천동 388  
TEL: 054-820-6267  
FAX: 054-820-6187  
e-mail: wdream@andong.ac.kr

정교철  
안동대학교 지구환경과학과  
경북 안동시 송천동 388  
TEL: 054-820-5753  
FAX: 054-823-1627  
e-mail: jeong@andong.ac.kr