

무주지역 수질특성자료의 통계학적 분석에 의한 소유역 구분

한 원 식^{1*} · 우 남 칠¹ · 이 기 철² · 이 광 식³

¹연세대학교 지구시스템과학과 · ²농업기반공사 농어촌연구원 · ³한국기초과학지원연구원

Watershed Classification Using Statistical Analysis of Water Quality Data from Muju area

Weon-Shik Han^{1*} · Nam-Chil Woo¹ · Ki-Chul Lee² · Kwang-Sik Lee³

¹Department of Earth system science, Yonsei University

²Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation

³Korea Basic Science Institute

ABSTRACT

This study is objected to identify the relations between surface- and shallow ground-water and the seasonal variation of their qualities in watersheds near Muju area. The water type shows mainly Ca-HCO₃ type. Heavy-metal contamination of surface water is locally detected, due to the mixing with mine drainage. In October, nitrate concentration is especially high in densely populated area. Cluster Analysis and Principal Component Analysis are implemented to interpret the complexity of the chemical variation of surface- and ground-water with large amount of chemical data. Based on the cluster analysis, surface-water was divided into five groups and ground-water into three groups. Principal Component Analysis efficiently supports the result of cluster analysis, allowing the identification of three main factors controlling the water quality. There are (1) hydrogeochemical factor, (2) anthropogenic factor and (3) heavy metal contaminated by mine drainage.

Key Words : Cluster Analysis, Principal Component Analysis, Water quality data, Nitrate, Muju

* Corresponding author : eclipseh@hanmail.net

원고접수일 : 2002. 8. 9 계재승인일 : 2002. 9. 2

요 약 문

본 연구는 무주군 적상산 부근에 위치하는 소유역에서 지표수의 수질과 인접한 천층지하수 수질사이의 관계 및 지질매체와 오염원의 유입에 의한 계절적인 변동을 규명하기 위하여 수행되었다. 8월과 10월 두 차례의 조사결과 이곳 지표수와 지하수 수질은 Ca-HCO₃ 유형이 주를 이루고 있었으며 인근 광산부근에서는 중금속에 의한 오염이 나타나고 있었다. 10월 조사시에 인가가 밀집한 지역에서는 질산성 질소의 의한 오염 또한 높게 나타나는 특징을 보이고 있다. 이러한 자료를 토대로 군집분석(Cluster Analysis)과 주성분 분석(Principal Component Analysis)을 실시하였으며, 군집분석결과 지표수는 5개의 그룹으로 구분되었고 지하수는 3개의 그룹으로 구분되었다. 주성분분석 결과는 군집분석 시에 나타난 결과를 효과적으로 지지하고 있으며 (1)지질매체의 수리지화학적 반응, (2) 오염물질의 유입 (3) 인근광산에 의한 중금속 오염이 복합적으로 반응하여 나타난 결과로 해석된다.

주제어 : 군집분석, 주성분분석, 수질자료, 질산성 질소, 무주

1. 서 론

옥천 습곡대와 영남육괴 (소백산 육괴) 사이에 위치하는 규모가 작은 백악기 퇴적분지인 무주분지는 영동 분지로부터 남서쪽으로 약 20km 거리에 있으며 진안 분지로부터 북동쪽으로 약 25km 떨어진 곳에 위치한 곳이다. 지금까지의 무주분지에 대한 지질학적 연구는 지질도 작성을 위한 조사¹⁾, 무주 양수 발전소의 건설을 위한 적상산 동쪽 부근의 지질 및 암반의 특성에 관한 연구²⁾, 농어촌 지역 지하수 자원의 오염 예측도 작성 기법에 관한 연구³⁾, 선행되었던 지질분포와 지질 구조의 재해석에 대한 연구^{4), 5)} 등이 수행되었다.

상기한 바와 같이 기존의 연구들은 대체로 지질의 특성에 관한 연구들이며 농어촌 지역 지하수 자원의 오염 예측도 작성 기법에 관한 연구³⁾의 경우 광역적으로 무주군 전체에 대한 전반적인 조사를 시행하였다. 대체로 지표수의 화학적 특성⁶⁾과 지하수의 특성^{7), 8)}에 관한 연구는 독립적으로 수행되어 왔으며, 광역적인 규모에서 시행되었다. 그러나 농촌 지역의 수질오염관리와 보전을 위해서는 근본적으로 지표수·지하수와 수질에 영향을 미치는 지질매체와의 수리 화학적 반응 특성과, 이러한 반응이 매체의 분포에 따라서 다르게 나타나는 지역적 변화를 고려하여야 한다. 따라서 본 연구는 지표환경과 지하수환경 사이에 일어나는 환경

지구화학적인 반응과 수질 및 지질과의 상호연관성을 분석, 이러한 특성의 시공간적인 변화를 규명하고자 수행되었다.

2. 연구 지역 및 방법

무주분지는 전북 무주군 적상면 적상산과 조항산을 중심으로 분포하며(Fig. 1), 그 층서는 선캄브리아 시대의 우백 화강암질 편마암, 호상 편마암과 쥬라기의 편상 화강암을 기반암으로 무주분지의 백악기 암층서는 설천 응회암, 방이리층, 길왕리층, 적상산층, 관입 암류로 정해진다⁴⁾. 설천 응회암은 결정질 응회암, 결정질 라필리 응회암, 응회 각력암으로 구성되어 있으며, 연구지역 서쪽에 위치하는 방이리층은 회색에서 담황색의 응회질 사암, 역질 사암, 기질지지 역암, 이암으로 구성되어 있으며 백악기 퇴적암의 최하부층이다. 길왕리층은 원마도가 좋은 왕자갈-거력 역암, 왕모래 역암, 사암, 세일로 구성되며 연구지역 중앙에 위치하는 적상산층과는 정합관계를 보여주고 있다. 적상산층은 암편질 응회암 및 라필리, 용결 응회암, 구형 라필리암, 결정질 응회암, 안산암으로 구성되어 있으며 무주분지 백악기 층의 최상부층을 이루고 있다. 이층은 적상산 정상까지 분포하고 있다. 관입암체는 적상산 북쪽 능선에 비교적 큰 암체로 산출하며 절은 녹색에서 짙은 회색의 괴상 세립질암을 이룬다^{4), 5)}.

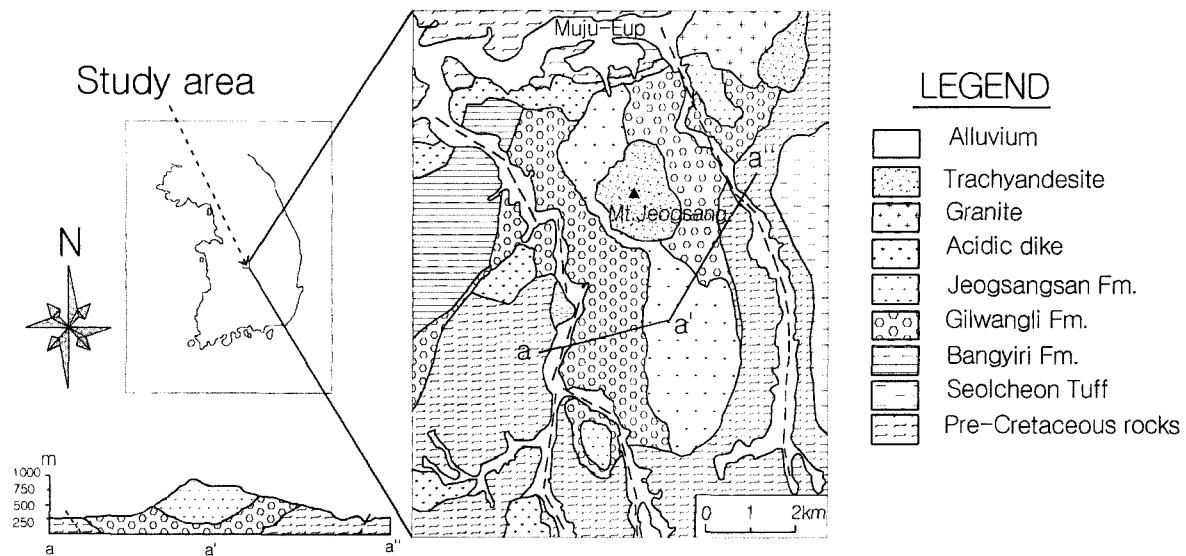


Fig. 1. Geologic map of the study area (Park and Lee, 1997).

본 연구에서는 2001년 8월과 10월 2차례의 현장조사를 수행하였으며, 각각의 조사에서 지표수는 22개의 지점, 지하수는 20개 지점에서 양이온, 음이온 분석을 위한 물 시료를 채취하였다. 지표수는 적상산 동쪽에 위치한 (A)수계와 적상산 서쪽에 위치한 (B)수계의 하천과 적상산 상부 및 하부댐에서 채취하였으며 지하수는 하천에 인접하여 충적층과 풍화대로부터 개발된 천층 지하수를 채취하였다.

지하수, 지표수 시료는 현장에서 pH, 전기전도도 (EC), 산화환원전위(ORP), 수온을 시료 채취와 동시에 측정하였다. 용존 이온을 분석하기 위한 시료는 모두 채취 후 $0.45\mu\text{m}$ 멤브레인 여과지로 여과하여 양이온의 경우 60%의 농축질산을 30%농축질산으로 회색하여 pH를 2이하로 낮추어 보관하였으며, 음이온 분석 시료는 냉장 보관하였다. 주음이온 (F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)은 연세대학교 지하수·토양환경 연구소에서 IC(Ion Chromatography)를 이용해 분석하였으며, HCO_3^- 는 0.1M-HCl로 적정분석하였다. 양이온과 미량 중금속(Cr , Cu , Zn , Cd , Pb , Fe , Mn , Al)은 한국기초과학지원연구원의 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)를 이용해 분석하였으며 K와 As는 연

세 대 학 교 에 서 AAS (Atomic Absorption Spectroscopy)로 분석하였다.

지표수와 지하수의 복합적인 연관성 및 화학적 특성의 변화를 많은 양의 화학자료로부터 해석하기 위해서 통계학적인 접근 방법을 시도하였다. 2차례의 조사기간 동안 얻은 자료는 주성분분석(Principal Component Analysis)과 군집분석(Cluster Analysis)방법으로 분석하였다. 기 발표된 연구결과의 경우 두 개의 대수층에서 얻은 화학자료를 해석하기 위해 요인분석(Factor Analysis)과 대응분석(Correspondence Analysis)을 이용하였다. 또한 변수들의 차이에 따른 분석결과를 비교하기 위해 Q-mode와 R-mode를 모두 실시하였으며 Varimax와 Oblique Rotation을 적용하여 두 결과를 비교하였다⁹. Robert et al(1993)¹⁰는 화학자료의 공간적인 해석을 위해 요인분석과 대응분석을 하였으며 시간적 변화를 Spectral Analysis로 시도하였다. 최근에는 주로 주성분 분석과 군집분석을 많이 이용하며 주로 오염원의 근원이 인간활동에 의한 기원(Anthropologic Resources)인지 암상에 의한 현상(Lithological Resources)인지를 구분하는데 이용되고 있다¹¹. 적용되는 지역규모와 매질 또한 다양하여 A Facchinelli

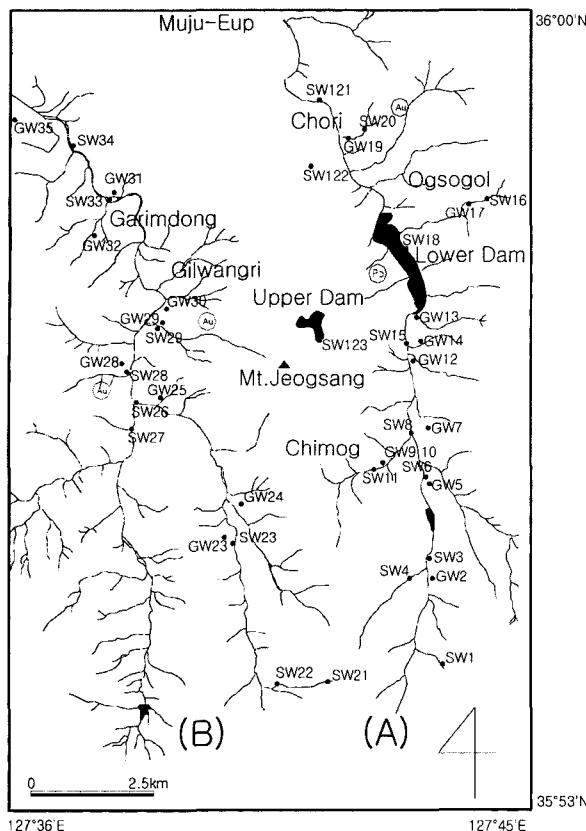


Fig. 2. Sampling locations of the study area: GW and SW denote surface- and ground-water, respectively.

et al(2000)¹²은 광역적인 범위에서 토양내의 중금속의 균원지를 해석하는데 이 용하였으며, Jeong(2001)¹³은 산업화와 토양이용에 따른 대전지역의 지하수의 특성을 해석하는데 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 배경수질

지표수는 8월보다 10월에 수온이 평균 약 10°C 정도 낮아졌으며, 각 관측지점에서의 변화 또한 일관성 있게 나타나고 있다(Fig. 3). 그러나 지하수는 8월과 10월의 평균 온도차가 약 1.8°C로 적으며, 관측지점에 따른 변화도 상대적으로 크지 않다. 이는 계절적 온도

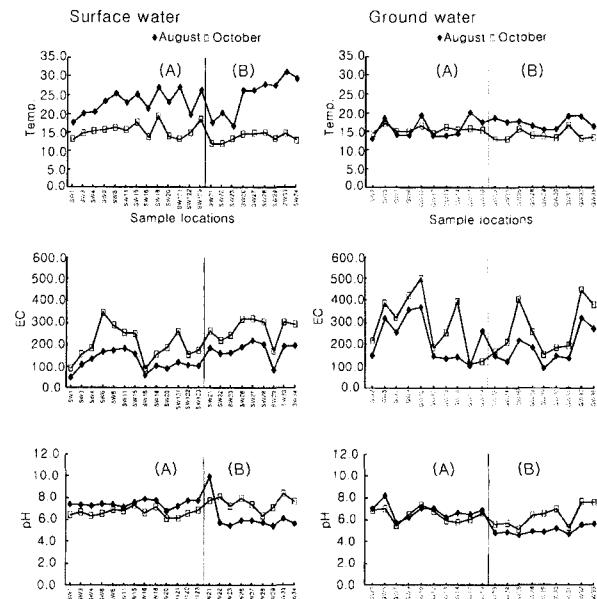


Fig. 3. Variations of pH, EC and temperature of surface- and ground-water samples in August and October: watersheds (A) and (B) are divided by the vertical line.

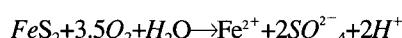
변화가 지표수에서는 실시간으로 반영되고 있으나, 지하수에서는 완충되고 있음을 의미한다.

전기전도도(EC)는 지표수와 지하수 모두 8월에 비해 10월에 크게 나타나고 있다. 이는 지표수와 지하수 모두 여름에 풍부한 수량 때문에 생긴 용존이온 함량이 희석되는 효과를 나타내는 계절적 영향으로 해석된다. EC의 절대값에서는 지하수가 지표수보다 50~70μS/cm 이상 크게 나타내는데, 이는 지표수가 지하로 침투 함양되는 과정과 지하수의 이동과정에서 발생한 물-암석반응의 결과 용존이온의 함량이 증가되기 때문으로 해석된다.

pH의 경우에는 EC, 수온과는 달리 계절적인 변동 보다는 수계에 따른 변화 양상이 분명하게 나타난다. 특히 8월 자료에서는 지표수와 지하수 차이가 명확하며, (B)수계에서는 (A)수계보다 현저하게 낮은 pH값을 보이고 있다. 그러나 8월의 수계별 변화가 10월에는 나타나지 않는다. 이러한 수계전체에 대한 pH값의 변화는 8월에 (B)수계에서 나타나는 일시적인 특성으

로 해석되나 구체적인 원인에 대해서는 현재로서는 현재로선 해석하는데 어려움이 있다. (B)수계의 최상류부에서 예외적인 높은 pH(9.92)를 보이는 지표수 SW21의 경우는 주변에 위치한 석회고토비료 공장으로부터 나온 배출수의 영향으로 해석된다.

지표수와 지하수의 주성분 함량은 Fig. 4에서 보이듯이 Ca-HCO₃ 유형이 주를 이루며, 국지적 오염원에 의한 Na 또는 SO₄ 성분의 증가현상이 부분적으로 나타난다. SO₄의 경우 지표수에서 (A)수계 최하류부에 해당하는 SW20, SW121지점에서 높게 검출되었다. SW20은 금광이 위치한 부분으로 Cd(8월: 0.01 mg/L, 10월: 0.05 mg/L)과 Zn(8월: 2.36 mg/L, 10월: 4.37 mg/L)가 높게 검출되고 있다. SW121은 SW20 하류부에 위치하고 있으며 Cd는 검출되지 않지만 Zn(8월: <0 mg/L, 10월: 0.06 mg/L)가 미량 검출되었다. 따라서 SW121 또한 금광에서 나오는 광산수에 의해 영향을 받고 있는 것으로 보인다. (B)수계의 경우 중하부(SW27, SW28, SW33, SW34)에 걸쳐 SO₄가 전반적으로 높은 농도를 보이는데, 이 역시 인근의 소규모 금광 지역에서 발생하는 황화광물의 산화작용에 기인하는 것으로 해석된다. 금, 은광산 부근의 수계에서 SO₄의 함량이 많아지는 황철석(pyrite)의 산화반응은 많은 연구에서 보고된 바 있으며 주요 반응식은 아래와 같다¹⁴⁾.



주성분중에서 Ca이온은 석회석, 돌로마이트, 석고 등의 용해로부터 자연수내로 공급될 수 있다. Ca의 경우 지표수의 8, 10월 평균농도는 각각 16.01 mg/L와 20.93 mg/L이며, 지하수의 경우에는 17.55 mg/L와 18.96 mg/L로 나타난다. 8월 지표수의 경우 (B)수계가 (A)수계보다 전반적으로 높게 나타나고 있으나, 지하수의 경우는 수계에 따른 차이를 보이지 않고 있다. 따라서, 지표수의 경우에는 (B)수계 최상부에 위치하고 있는 석회고토비료공장의 영향이 나타나는 것으로 해석되며, 지하수의 경우는 인위적인 영향보다 지질학적인 영향으로 지점마다 고유의 농도를 나타내는 것으

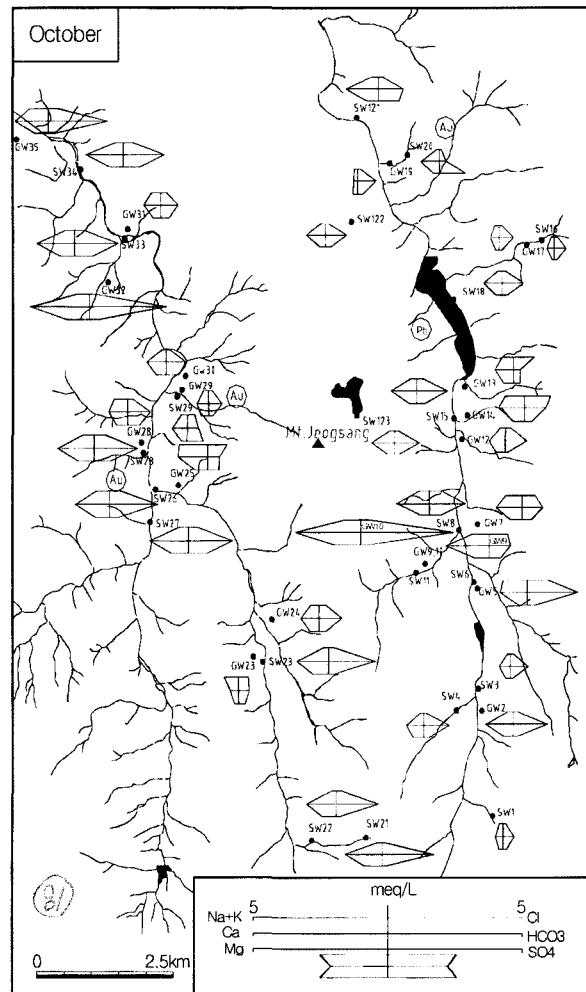


Fig. 4. Stiff diagram of October samples

로 보인다. 계절적 특징으로는 10월에 얻은 Ca자료가 8월에 얻은 자료보다 높게 나타나고 있다. 이는 앞에서 언급한 EC값이 10월에 증가되는 것과도 일치한다.

HCO₃ 이온은 대기중의 CO₂가 지표수에 용존되는 경우와 방해석, 돌로마이트 등의 지질매체의 용해작용에 기인한다. 지표수의 경우 HCO₃의 평균 농도는 8월과 10월 각각 64.12 mg/L, 59.59 mg/L이며 지하수의 경우는 69.71 mg/L, 66.57 mg/L으로 나타났다. HCO₃의 경우 Ca와 마찬가지로 지표수에서 수계별 특징을 잘 반영하고 있다. 8월조사시에 (A)수계 지표수에서 HCO₃의 평균농도는 49.22 mg/L이나 (B)수계는 85.64 mg/L였으며 10월조사시에는 각각

58.70 mg/L와 93.07 mg/L였다. 앞에서 언급한바, (B)수계 상류부 석회공장이 위치한 점으로 보아 (B)수계 상류부의 편마암층에 협재하는 탄산염암과의 반응이 (A)수계와 (B)수계 사이에 차이를 만드는 것으로 해석된다. 조사지역 지질도에는 표시되지는 않았지만 이대성, 남기상의 장기리 도폭¹⁹⁾에서 석회고토비료 공장이 위치한 지역에는 탄산염암맥이 밀집 분포되어 있다. 지하수의 경우 (A)수계와 (B)수계 사이에 특별한 차이를 나타내지 않지만 지역적인 특징을 보이고 있다. 대표적인 관정은 GW5, GW10, GW32, GW35이며 이러한 관정들이 위치한 곳 지하에는 탄산염암맥이 위치하고 있다고 추정할 수 있을 것이다 (Fig. 1).

특이하게 (B)수계에 위치한 SW29는 8월과 10월 조사 결과 각각 HCO_3^- 이온의 농도가 26.95 mg/L과 23.53 mg/L로 매우 낮은 수치가 검출되고 있다. SW29 수계의 근원지는 적상산으로 이곳의 충은 응회암으로 구성된 적상산층이다(Fig. 1). 따라서 SW29의 수질특성은 (B)수계가 나타내는 탄산염암이 용융되어 있는 수질 특성을 반영하기 보다는 적산상층의 특성을 보이는 것으로 해석된다. 차후에 언급할 지표수의 주양이온을 이용한 통계분석 결과에서도 SW29는 (B)수계의 특성에서 제외되는 결과를 나타내고 있으며, Ca와 Mg의 농도 또한 낮은 값을 보이고 있다. SW29와 비슷한 수질 특성을 보이는 지점은 SW1, SW16, SW20으로 이곳은 시료를 채취한 위치가 인가로부터 멀리 떨어진 고도가 높은 지역이며 모두 (A)수계에 위치하고 있다. 지하수의 경우 또한 적상산층에 위치하고 있는 GW23는 Ca, Mg, HCO_3^- 의 농도가 적게 검출된다. 결과적으로 적상산층 분포지역의 지표수와 지하수 시료의 성분함량은 지질 매체의 고유 특성을 잘 반영하고 있다.

Cl^- 이온은 지표에 다양한 기원이 있으며, 일반적으로 지표수의 경우 다른 주음이온인 SO_4^{2-} 나 HCO_3^- 의 농도 보다 적게 나타난다. 지표수의 Cl^- 농도가 크게 나타나는 경우에는 Cl^- 의 농도가 높은 지하수의 함량이나 또는 인위적인 오염원의 유입으로 볼 수 있다¹⁵⁾. 본 연구 지역에서는 Cl^- 의 농도가 15 mg/L를 초과하는 경우에

질산성질소의 농도는 8 mg/L를 초과하여 검출되고 있으며, 질산성 질소와 Cl^- 의 상관관계는 $r = 0.684$ 로써 신뢰도 수준 99%에서 상관성을 보이고 있다. 질산성 질소가 4 mg/L 이상인 관정들은 차후에 발생되는 인간활동에 의해 오염될 가능성이 매우 높은 취약한 관정들이다^{16), 17), 18)}. 그러므로, 질산성질소와 염소의 상관관계는 상대적으로 높은 염소이온 농도가 질산성질소와 동일한 오염원에 기인함을 지시한다.

질산성 질소의 파다는 지상의 축산 폐수와 생활 하수의 유입, 비료의 시비와 같은 인위적인 오염원의 유입 때문에 발생하며^{19), 20)} 인간활동에 의해 오염되지 않은 천부지하수는 일반적으로 2 mg/L 보다 적은 질산성 질소의 농도를 갖는다²¹⁾. 8월의 지표수와 지하수의 질산성 질소의 농도는 모두 5 mg/L 이하였으나 10월의 경우 GW9와 GW25에서 먹는물 수질기준인 10 mg/L를 초과하여 각각 16.26 mg/L와 16.83 mg/L 가 검출되었으며 SW11, GW7, GW13, GW14, GW23 시료에서는 4 mg/L 이상 검출되었다. 질산성 질소가 비교적 높게 검출된 지점들은 (A)수계는 인가가 많이 있는 수계의 중간지역에서, (B)수계는 GW25에서만 나타난다. 질산성 질소는 농사에 사용한 비료의 잔류성분이 8월 장마이후에 지하로 충진되어 10월 조사에서 다량 검출되는 것으로 보이며, 인가가 많이 있는 특징으로 보아 생활하수의 영향도 있을 것으로 사료된다.

3.2 수질특성에 의한 소유역의 구분

지표수와 지하수의 주요 수질성분(주양이온과 음이온) 자료들을 군집분석하여 얻은 결과는 Fig. 5와 같다. 군집분석시 유클리드 제곱값의 계산논리를 이용하여 시행하였으며 지표수의 경우 표준화된 거리를 5정도 지하수의 경우 2정도 정하여 그룹으로 분류하였다. 특히 지하수의 경우에는 그룹 I이 표준화된 거리를 2정도하면 2개의 그룹으로 분류되나 실제 농도치를 다른 관정의 함량과 비교해본 결과 분류에 의미가 없다고 판단하여 하나의 그룹으로 묶어나타내었다. 그 결과, 지표수는 5개의 그룹으로, 지하수는 3개의 대표적인 그룹으로 구분되었다. 군집분석으로 구분된 결과를

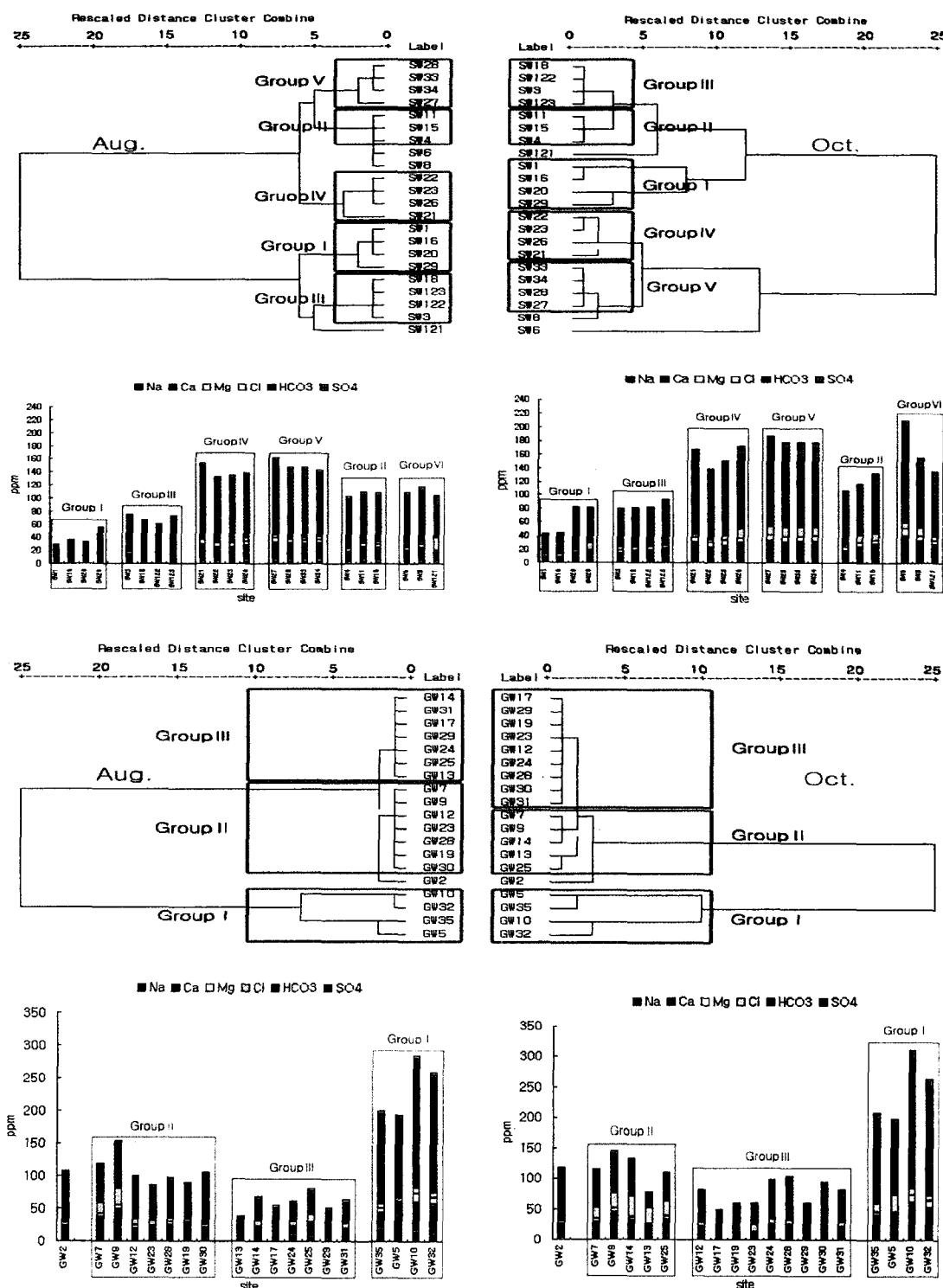


Fig.5. Cluster analysis using major ion concentrations in surface- and ground-water samples of August and October

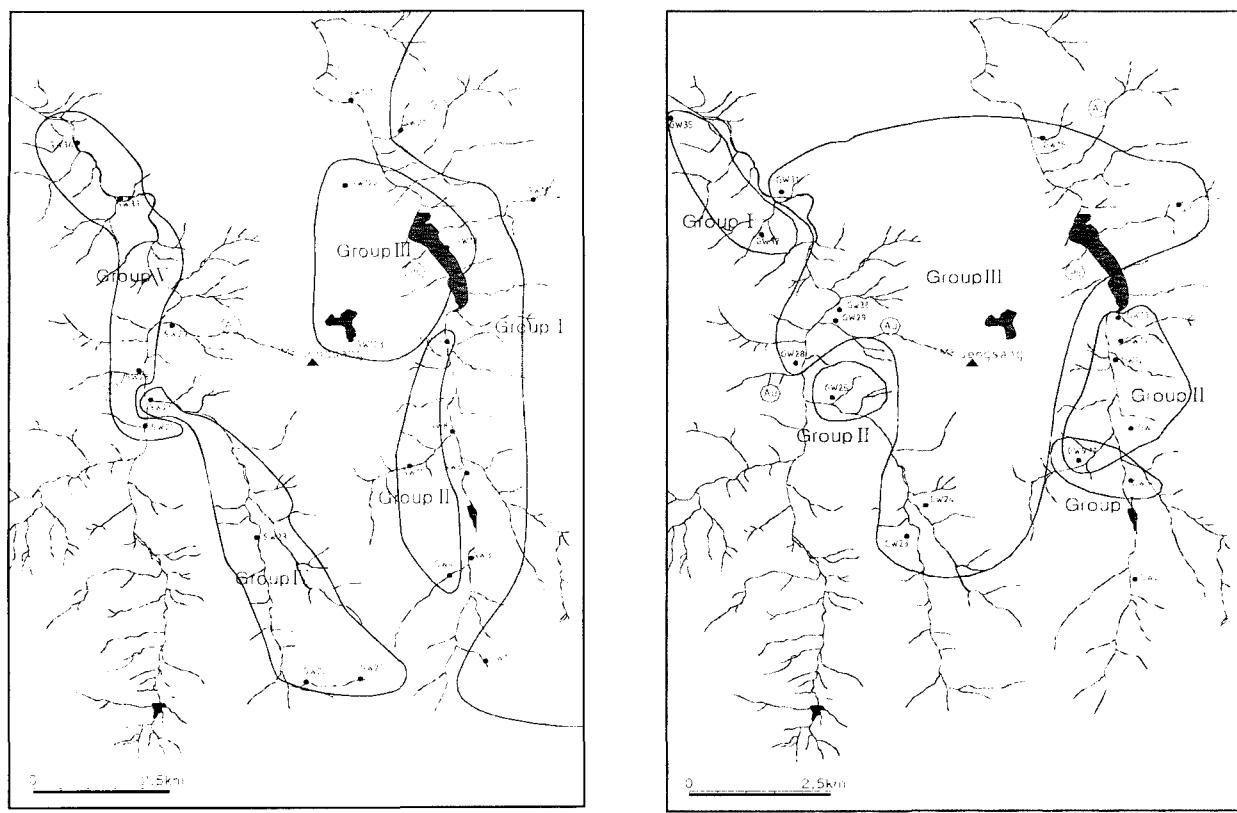


Fig. 6. Groups of surface- and ground-water based on the cluster analysis

지역적 분포로 표시하면 Fig. 6과 같다.

Fig. 5에 의하면, 지표수의 화학적 특성은 8월과 10월 비교적 일정하게 나타나고 있다. 계절에 따른 수계의 수질변화는 일부분에서 국한되는 것이 아니라 수계 전체가 변화하는 특성을 보여준다. (A)수계는 그룹 I, II, III로 구분되며, (B)수계는 그룹IV, V로 구분되고 있다(Fig. 6). 그룹 I, II, III은 (A) 수계를 나타내는 군집을 이루며 비교적 주양이온과 주음이온의 함량이 (B)수계에 비해 적게 나타난다. (B)수계의 경우에는 두 개의 하천이 모여 가운데 지점에서 한 개의 하천으로 모인다. (B)수계를 나타내는 그룹IV와 그룹V는 모두 Ca와 HCO₃ 함량이 많으며 이는 (B)수계의 상류부에 위치하는 탄산염암맥이 수계 전체에 영향을 주기 때문으로 해석된다.

그룹 I의 경우 (A)수계의 우측 상류 즉, 비교적 고도가 높은 지역에 분포하며, 8월 조사와 10월 조사에

서 동일하게 SW1, 16, 20, 29이 속하였으며 다른 그룹보다 주 용존이온 함량이 적은 것이 특징이다. 10월 조사시 SW20과 SW29의 SO₄ 함량이 일시적으로 증가했으나 통계적으로는 8월과 10월에서 같은 그룹으로 분류되었다. 10월에 SW20과 SW29에서 SO₄의 증가는 앞에서 언급했듯이 인근 광산에서 나오는 배출수의 영향으로 고려된다.

그룹 II는 SW4, 11, 15이며, 그룹III는 SW3, 18, 122, 123으로 구분된다. 그룹 II와 그룹III는 대규모 인공구조체인 댐에 의한 영향으로 두 그룹으로 나뉘고 있다(Fig. 6). 그룹 II는 (A)수계의 상류에서 하부댐 사이에 위치한 지역이다. 이곳은 인가가 밀집된 지역이며 계절에 따라 군집분석으로는 동일한 관정들의 그룹으로 묶이지만 Cl의 농도가 10월 조사시에 많이 검출되고 있다.

그룹III에는 하부댐과 상부댐 그리고 상부댐에서 내

려오는 계곡수가 하나의 그룹으로 묶인다. 댐의 영향을 받고 있는 그룹Ⅲ은 상류부에 위치하고 있는 그룹Ⅱ보다 용존이온의 함량이 적게 나타난다. 이는 빗물과 희석작용으로 인해 상부댐과 하부댐 그리고 상부댐에서 내려오는 계곡물에 주이온함량이 적게 나타나는 것으로 보인다.

그룹Ⅳ(SW21, 22, 23, 26)와 그룹Ⅴ(SW27, 28, 33, 34)는 다른 그룹보다 Ca와 HCO₃ 함량이 많이 검출되며 주 용존이온의 함량 또한 많은 것이 특징이다. 그룹Ⅴ는 특히 SO₄가 많이 검출되고 있다. 이는 (B) 수계의 중간에 위치하고 있는 광산과 지질매체의 영향으로 해석된다. 그룹Ⅳ를 이루는 수계의 지질매체는 선캠브리아기 편마암이며, 그룹Ⅴ의 수계는 동측으로 사암과 역암층으로 구성된 방이리층과 접하며 흐른다 (Fig. 1) 방이리층에 위치한 GW32, GW35는 주 양음이온 함량이 매우 크게 나타나며 미량중금속(Cd, Pb, Fe, Mn, Al, Cu) 또한 8월과 10월 조사에서 우려할 정도는 아니지만 지속적으로 검출되고 있다. 이는 지표수 SW33, SW34에서도 마찬가지로 검출되고 있다. 따라서 그룹Ⅴ는 광산의 간접적인 영향과 지질매체의 영향을 동시에 나타내고 있는 것으로 해석된다.

수계를 구성하는 그룹에서 제외된 그룹Ⅵ(SW6, 8, 121)은 계절에 따라 지표수의 특성이 변하는 군집이다. SW6, SW8은 8월에 비해 10월에 주 용존이온의 성분함량이 큰 폭으로 증가했으며 SW121은 광산폐수에 의한 오염과 질산성 질소에 의한 오염이 동시에 나타나고 있는 곳이다. SW121은 8월에 Cl의 농도가 20.66 mg/L로 높게 검출되어 인위적인 오염의 가능성은 지시하였으나 10월 조사에서는 SO₄의 함량이 37.96 mg/L로 인근 광산폐수의 영향을 받고 있는 것으로 해석된다.

지하수는 지표수와 다르게 계절에 따라 군집이 변동하는 특성을 보이며, 지하에서 일어나는 반응과 오염원의 유입 특성에 따라 구분된다 (Fig. 5). 그룹Ⅰ은 계절에 따라 일관적으로 동일 관정으로 묶이나 나머지 그룹들은 그렇지 않다. 이는 대부분 이곳에 있는 지하수가 지표수나 강수의 함양에 영향을 받는 천층 지하

수라는 사실을 의미한다. 8월과 10월 조사결과에서 그룹Ⅰ(GW5, 10, 32, 35)은 지하에서 탄산염광물과의 반응이 주된 물-암석 반응임을 간접적으로 지시한다. 박정웅, 이용일 무주도폭⁴에는 표시되어 있지 않지만 이대성, 남기상의 장기리도폭⁵에는 GW5, GW10이 위치한 지역에 탄산염 암맥의 존재가 보고된 바 있다.

10월 조사결과에서 지하수 그룹Ⅱ(GW7, 9, 13, 14, 25)는 인가가 밀집된 주위의 관정들 그룹으로 묶이고 있으며, 이들은 8월에서 10월 사이에 Cl의 농도가 증가된 특성을 보여준다. 앞에서 언급했듯이 증가된 염소의 농도는 질산성질소의 유입을 간접적으로 알려준다. 따라서 그룹Ⅱ의 관정들은 장마 이후 인간활동에 의해 발생한(anthropogenic) 오염물질이 지하수에 유입된 것으로 추정된다.

지하수 그룹Ⅲ(GW12, 19, 23, 24, 29, 30, 31)은 근접지표수의 함양과 강수의 특성에 따라 변화가 관찰되는 관정들이다. 이들의 수질 변동은 그룹Ⅱ와 다르게 계절에 따라 강수 또는 지표수가 지하수에 함양되어 지질매체(암상)와 반응하여 나타나는 자연적인(natural) 변화로 간주되며 일정한 규칙성을 발견하거나 어떤 한 원소가 두드러지게 높은 특성은 관찰되지 않았다.

이와 같이 수질변동 특성에 의해 동일한 그룹으로 구분된 관정들에서도 몇몇 관정들은 지질매체에 따른 고유한 특성을 보이고 있다. 예를 들어, GW17은 유일하게 설천옹회암층에 위치하고 있다. 이 시료에서는 탄산염광물이 거의 검출되지 않으며 총 용존이온 함량도 8월과 10월 모두 매우 적다. 또 다른 지질학적 특성을 반영하는 곳은 (B)수계의 중하부에 위치한 관정(GW25, 28, 30)들이다. 이 부근의 지표수는 SO₄가 높게 검출되는 특징(지표수 그룹Ⅴ)을 보인다. 마찬가지로 (B)수계의 하부에 위치한 지하수 관정의 SO₄ 함량은 20 mg/L로 동일수계의 지표수보다 검출되는 양은 적지만 10 mg/L 내외의 함량을 갖는 (A)수계에 위치한 지하수보다 많이 검출되는 특징을 보이고 있다.

군집분석을 통해서 공간적인 구분 후, 수질분석 자료에 대한 주성분 분석(PCA)을 수행하여 지하수와 지

Table. 1. Rotated Component Matrix of Water-Quality Parameters

August	Surface-Water				October	Surface-Water			
	1	2	3	4		1	2	3	4
K	-.122	.818	5.491E-03	.237	K	.822	.387	.163	-.151
Na	.304	.161	.170	.713	Na	.958	.105	.140	2.762E-02
Ca	.904	-8.10E-02	2.275E-02	.359	Ca	.418	.788	.228	1.828E-02
Mg	.958	-.153	-6.08E-02	.133	Mg	.256	.868	.158	-5.46E-02
Si	.520	.185	-.417	-.271	xSi	2.282E-02	.190	-.109	4.687E-03
Zn	-.138	.892	3.819E-03	-.235	Zn	-.169	-.147	-8.07E-02	.952
Cd	-8.27E-02	.896	-7.76E-02	.240	Cd	-.174	-.134	-8.20E-02	.949
Pb	-.457	.370	.523	-8.34E-02	Fe	4.247E-02	-5.11E-02	.948	-7.29E-02
Fe	6.410E-02	-1.79E-02	5.294E-03	.130	Mn	.363	.140	.746	-1.62E-02
Mn	6.562E-02	.212	-.149	.802	Al	-6.70E-02	.157	.880	1.565E-02
Al	3.281E-02	-7.33E-02	2.736E-02	-3.53E-02	Cl	.904	.294	.128	-5.94E-02
Cl	1.462E-02	-.141	.814	.367	SO ₄	.432	3.595E-02	.155	.751
SO ₄	.196	-.110	.228	.805	HCO ₃	.204	.880	.196	-.252
HCO ₃	.930	-.202	-6.00E-02	.182	F	-1.33E-02	.772	-.179	-7.42E-02
F	-5.99E-03	-.248	-.564	9.866E-02	NO ₃ -N	.747	-1.48E-02	-.190	-4.44E-02
NO ₃ -N	-.108	-.162	.931	1.955E-02					
Initial eigenvalue	4.193	2.895	2.609	2.016	Initial eigenvalue	5.447	2.526	2.248	1.767
Cumulative % of variance	26.207	44.303	60.609	73.209	Cumulative % of variance	36.317	53.155	68.139	79.917
August	Ground-Water				October	Ground-Water			
	1	2	3	4		1	2	3	4
K	1.270E-02	.821	.173	-.174	K	-.159	.746	-3.30E-02	-.333
Na	.417	5.591E-02	.243	-.574	Na	.573	.499	.258	.487
Ca	.948	.135	1.849E-02	-.121	Ca	.979	9.762E-02	3.150E-03	3.820E-02
Mg	.957	4.220E-02	5.001E-02	-.100	Mg	.958	4.014E-02	1.511E-04	-1.21E-02
Si	-.147	.275	-9.42E-03	-.208	Si	-8.64E-02	.234	.151	-.152
Zn	.112	-7.04E-02	.935	8.969E-02	Zn	-2.46E-02	3.798E-02	.832	.202
Cd	-.146	-.169	.473	.686	Fe	.242	-.182	.807	-.367
Pb	-.678	-.139	7.897E-02	-.145	Mn	4.281E-02	-.101	.923	2.336E-03
Fe	-3.02E-02	-9.20E-02	.248	.683	Al	-4.82E-02	8.086E-02	2.857E-02	-.199
Mn	9.417E-02	-1.37E-02	.957	.120	Cl	.143	.855	-1.08E-02	.251
Cl	.307	.861	-6.84E-02	-5.98E-02	SO ₄	.453	.421	2.941E-02	-.600
SO ₄	.541	.329	-4.39E-02	.499	HCO ₃	.869	-.278	.208	.304
HCO ₃	.882	-.249	.258	-.202	F	.307	-8.57E-02	-1.21E-02	.855
F	.439	-.566	8.657E-02	-.132	NO ₃ -N	-2.41E-02	.838	-.273	-.255
NO ₃ -N	-3.13E-02	.860	-.306	-2.02E-03					
Initial eigenvalue	4.195	3.378	2.124	1.358	Initial eigenvalue	3.798	2.932	2.150	1.731
Cumulative % of variance	27.966	50.488	64.650	73.704	Cumulative % of variance	27.128	48.072	63.431	75.794

표수의 8월과 10월의 수질변동을 주도하는 요인들을 규명하였다. Table 1은 Kaiser nomalization 후 Varimax 변환을 실시하여 추출된 인자들을 나타낸다.

주성분분석 결과에 의하면, 이 지역의 수질특성은 4 가지 주성분에 의해 전체 시료의 약 73% 이상을 설명 할 수 있다. 이들 주성분은, (1) 지질학적 배경수질을 반영하는 Ca, Mg, HCO₃, (2) 인위적 오염물질의 유입을 지시하는 K, Cl, NO₃-N, (3) 산화-환원반응에 의해 조절되는 Fe, Mn 성분과 (4) 황화광물의 산화와 중금속의 용탈이동을 지시하는 Cd, Zn, SO₄ 등이다. 이러한 주성분 요인들의 영향은 국지적으로, 또는 계절적으로 뒤바뀌어 나타나기도 하며, (3), (4)의 성분들은 황화광물의 산화가 산화환원반응에 직접적으로 영향을 미치게 되므로 혼합된 상태로 나타나기도 한다. 이러한 현상은 Table 1의 주성분 Component의 고유값(eigen values)의 변화경향으로 알 수 있다.

지표수에서 8월 자료는 Component I 이 Ca, Mg, HCO₃이며 고유치가 4.193으로 지질학적인 요인이 가장 큰 설명력을 나타냈으나, 10월 결과에서는 고유치가 2.526으로 Component II로 전환되었다. Cl과 NO₃-N는 8월에는 고유치가 2.609로 Component III에 포함되었으나 10월 결과에서는 고유치가 5.447이었으며 Component I을 차지하고 있다. 이는 8월에 비해 10월에 지표수로 오염원의 유입이 활발함을 지시해준다. 8월 장마후에 시비한 비료성분들이 9월과 10월 사이에 지표수로 유입되기 때문인 것으로 생각된다.

지하수는 8월과 10월 모두 계절에 따라 지질학적인 변수(Ca, Mg, HCO₃)들의 설명력이 가장 크게 나타난다. 이는 지하에서 일어나는 주된 반응은 탄산염 광물에 의한 물-암석반반응이라는 것을 지시해준다. 그러나 지표수와 마찬가지로 지하수의 경우 오염원의 유입에 의한 설명력을 나타내는 변수들이 Component II로 나타나고 있다. 몇몇 광산 부근에 위치한 곳에서는 중금속에 의한 영향이 나타나 Component III, IV로 구분되고 있다.

4. 결 론

무주분지 일대의 지표수와 천층 지하수의 물-암석 반응은 탄산염 광물에 의한 반응이 주된 반응이며, 계절에 따라 지질매체와 반응하는 수질특성의 변화는 일관성이 있으나 오염원의 유입에 의해 국지적으로, 시기적으로 변동되는 것을 알 수 있다. 또한 비점오염원으로서의 농업활동과 농촌지역 생활오폐수의 유입에 의한 질산성질소의 오염과 인근광산 배출수의 영향을 이 지역 지하수-지표수의 잠재적 오염원으로 들 수 있다.

화학성분에 의한 군집분석결과는 지표수의 수계별 특성을 잘 반영한다. 그룹 I은 (A)수계의 비교적 고도가 높은 지역, 그룹 II는 (A)수계의 상류에서 하부댐 사이에 위치한 지역, 그룹 III는 (A) 수계의 하부댐과 상부댐 그리고 상부댐에서 내려오는 계곡수, 그룹 IV는 (B) 수계의 상류에 위치한 하천, 그룹 V는 (B) 수계 하류에 있는 하천으로 구분된다.

지하수는 계절별 군집이 변동하는 특성을 보인다. 그룹 I은 지하에서 탄산염광물과의 반응을 간접적으로 지시하는 관정들의 군집이며 그룹 II는 8월에서 10월 사이에 인위적인 오염물질이 유입된 관정, 그룹 III는 계절에 따라 강수 또는 지표수가 지하수에 함양되어 암상과 반응하여 나타나는 자연적인(natural) 변화로 간주된다.

주성분 분석결과는 군집분석결과를 지지해주며 지질학적 배경수질을 반영하는 (1) 수리지화학적 물-암석 반응에 의한 변수, (2) 인위적인 오염 변수, (3) 광산의 영향 등 3가지의 주요 인자로 구분이 되었다.

그러나 본 분석에서 사용된 모든 자료가 수질 자체에 한정되어 있어, 전술한 바와 같은 오염원을 유추한 결과에 대해서는 현장에서의 실제 오염원과 오염 진행 상황에 대한 평가가 보완되어야 할 것이다.

이에 관한 추가 연구가 본 과제의 2차년도에 수행될 예정에 있다.

농촌지역의 지하수 수질보전과 체계적인 관리를 위해서는 지역적인 수질특성과 함께, 이러한 수질특성이 공통적으로 나타나는 소유역에 대한 구분이 선행되어

야한다. 즉, 이러한 구분을 통해서 현장에 효율적으로 적용 가능한 관리방안이 도출될 수 있다. 본 연구결과는 수질특성을 근거로 지표수와 지하수 유역을 세분하는 구체적인 방안을 제시한 것으로 그 중요성을 찾을 수 있다.

사 사

본 연구는 농림부의 “농촌지역 청정지하수 수질감시 /관리시스템 개발”과제의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이대성, 남기상, “한국 지질도 (1:50,000), 장기리 도 폭 및 설명서”, 한국지질조사소, 33p(1969)
2. 한국전력공사 (KEPCO), 1991, 무주양수 1,2호 설계 기술용역 지질조사보고서 (미발간)
3. 농어촌 지역 지하수 자원의 오염 예측도 작성 기법에 관한 연구, 농림부 (2000)
4. 박정웅, 이용일, “백악기 무주분지의 층서 재정립”, 지질학회지, 33권, p65-77(1997)
5. 박정웅, 이용일, “적상산에 분포하는 백악기 무주분지 역암(길왕리층)의 기원지”, 지질학회지, 36권 4호, p355-370(2000)
6. Nakagawa Y., Iwatsubo G., “Water chemistry in a number of mountain streams of east Asia”, *Journal of Hydrology*, p118-130(2000)
7. Hrdy M. J. and Franklin W., The Chemical Evolution of Ground Water in the Milk River Aquifer, Canada, *Groundwater*, vol.28, no.2, p253-261(1990)
8. 윤정아, 김규한, 남한 탄산수의 지구화학적 특성과 안정동위원소 조성, *지하수환경* 7권 3호, p119-124(2000)
9. Eduardo J. and amado Guzman-Guzman, Multivariate Analysis in Hydrochemistry: An Example of the Use of Factor and Correspondence, *Groundwater* vol.27, No1, p27-34(1989)
10. Robert W., Stephen L., Babara M., and Manilig C.,

Analysis of Temporal Variability in Hydrogeochemical Data Used for Multivariate Analysis, *Groundwater* vol.31, No.2, p221-229(1993)

11. Carlon C., Critto A., Marcomini A., Nathanail P., Risk based characterization of contaminated industrial site using multivariate and geostatistical tools, *Environmental pollution*, 111 p.417-427(2001)
- 12 Facchinelli A., Sacchi E., Mallen L., Multivariate statical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils, *Environmental pollution*, 114, p313-324(2000)
13. C. H. Jeong, Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, korea, *Journal of Hydrology* 253, p194-210(2001)
14. Appelo C. A. J., and Postma, D, Geochemistry, Groundwater and Pollution, A.A.Balkema, p263-265(1994)
15. Hem J., Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Third edition, U.S Geological survey water-supply paper 2254(1992)
16. Bernard T. and Nolan, Relating Nitrogen Sources and Aquifer Susceptibility to Nitrate in Shallow Groundwaters of the United States, *Groundwater*, Vol.39 No.2, p.290-299(2001)
17. BERNARD T. NOLAN, KERIE J. Hitt, and Barbara C. R, Probability of Nitrate Contamination of Recently Recharged Groundwaters in the Conterminous United States, *J.S. Environ. Sci. Technol.*, Vol.36 No.10, p.2138-2145(2002)
18. Anthony J. T. and Frank D. V, Prediction the Probability of Elevated Nitrate Concentrations in the Puget Sound Basin: Implications for Aquifer Susceptibility and Vulnerability, *Groundwater*, Vol.35, No.6, p.1029-1039(1997)
19. Gromley J. R. and Spalding R. F., Sources and Concentration of Nitrate-Nitrogen in Groundwater of the Central Platte Region, Nebraska, *Groundwater*, Vol.17, No.3, p291-301(1979)

20. Aravena R., Evans M. L., and Cherry J. A., Stable isotopes of Oxygen and Nitrogen in Source Identification of Nitrate from Septic System, *Groundwater*, Vol.31, No.2, p.180-186(1993)

21. Mueller D. K. and Helsel D. R., Nutrients in the Nation's Waters-Too Much of a Good Thing?, U.S. Geological Circular 1136(1996)

Appendix I. Chemical data of water in this area

(단위):mg/l

August	K	Na	Ca	Mg	Si	Zn	Cd	Pb	Fe	Mn	Al	Cu	Cl	SO ₄	HCO ₃	F	NO ₃ -N	
SW1	1.04	2.96	3.57	1.22	5.57	BDL	2.29	18.87	0.18	BDL								
SW3	3.02	3.34	10.84	3.57	5.82	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	2.55	4.73	50.31	0.31	0.07	BDL	
SW4	1.05	2.96	14.94	5.63	6.13	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	0.62	4.65	74.45	BDL	BDL	BDL	
SW6	1.10	3.46	16.64	5.53	6.09	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	2.37	7.90	73.05	1.28	0.05	BDL	
SW8	2.06	5.16	18.94	5.15	6.23	BDL	BDL	BDL	0.054	BDL	0.044	BDL	3.99	8.74	76.20	0.03	0.18	BDL
SW11	2.10	6.64	18.54	5.14	7.00	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	3.83	8.33	67.37	0.03	0.26	BDL	
SW15	2.09	5.62	18.64	5.31	5.93	BDL	BDL	0.041	BDL	BDL	BDL	3.96	4.77	70.15	BDL	0.69	BDL	
SW16	7.01	4.40	4.61	1.02	5.59	BDL	BDL	0.030	BDL	BDL	BDL	0.96	3.39	22.11	0.36	BDL	BDL	
SW18	2.00	3.75	10.94	2.71	1.13	BDL	BDL	0.024	BDL	BDL	BDL	2.14	7.24	40.49	BDL	0.62	BDL	
SW20	8.00	3.80	7.36	1.67	5.65	2.360	0.012	0.027	BDL	BDL	BDL	0.39	1.34	18.31	0.07	BDL	BDL	
SW121	2.05	4.38	12.44	2.96	2.64	BDL	BDL	0.024	BDL	BDL	BDL	20.66	18.16	46.74	BDL	2.02	BDL	
SW122	2.04	4.40	11.44	2.16	3.55	BDL	BDL	0.016	BDL	BDL	BDL	0.82	0.97	41.10	0.27	BDL	BDL	
SW123	2.01	3.84	10.64	2.62	1.46	BDL	BDL	0.020	BDL	BDL	BDL	2.79	13.15	40.66	0.27	0.03	BDL	
SW21	1.08	2.95	26.04	8.45	5.75	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	0.037	0.20	3.15	113.18	0.27	BDL	
SW22	2.02	3.13	21.64	6.96	6.44	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	1.06	5.38	94.80	0.28	BDL	BDL	
SW23	1.07	4.24	19.84	7.07	5.35	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	1.37	3.77	98.20	0.28	BDL	BDL	
SW26	4.05	6.20	21.74	6.14	5.36	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	5.03	7.87	92.34	0.26	0.21	BDL	
SW27	4.03	6.51	25.34	7.72	5.41	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	4.32	31.67	87.11	0.21	0.08	BDL	
SW28	4.08	6.37	24.14	6.47	5.38	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	3.77	18.32	88.72	0.22	0.03	BDL	
SW29	1.09	4.78	7.15	1.43	5.43	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	0.003	BDL	1.40	13.42	26.95	0.25	BDL	BDL
SW33	4.04	6.54	22.94	5.81	4.63	0.002	0.006	0.006	0.011	0.010	BDL	BDL	5.17	19.88	86.94	0.25	BDL	BDL
SW34	4.04	6.68	23.74	5.53	4.58	BDL	0.005	0.008	0.005	0.007	BDL	0.008	5.51	19.33	82.50	0.25	0.06	BDL
GW2	1.06	5.69	17.34	4.70	8.55	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	3.06	5.96	71.47	0.41	0.30	BDL	
GW5	1.02	42.30	19.14	4.94	8.89	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	2.37	7.90	116.82	0.22	0.05	BDL	
GW7	6.07	15.90	20.64	5.64	11.90	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	17.11	13.69	46.40	BDL	2.37	BDL	
GW9	8.03	18.40	30.14	7.08	10.80	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	24.60	20.02	53.71	BDL	3.92	BDL	
GW10	1.06	17.60	42.94	12.00	6.31	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	9.35	12.62	189.60	0.58	0.60	BDL	
GW12	1.04	7.76	12.04	4.71	11.40	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	9.34	12.60	53.43	0.76	0.61	BDL	
GW13	3.07	7.64	9.40	3.52	7.69	BDL	BDL	0.020	BDL	BDL	BDL	2.45	1.18	14.01	BDL	0.41	BDL	
GW14	4.09	7.57	11.54	3.28	7.98	BDL	BDL	0.023	BDL	BDL	BDL	8.07	8.75	28.36	0.20	1.18	BDL	
GW17	1.09	7.14	8.80	1.97	6.58	BDL	BDL	0.023	BDL	BDL	BDL	3.96	4.77	28.12	0.15	0.69	BDL	
GW19	0.23	13.70	14.74	5.12	8.22	BDL	BDL	0.016	BDL	BDL	BDL	3.38	3.76	49.35	0.24	0.46	BDL	
GW23	6.08	6.73	12.54	4.29	7.53	0.055	0.008	0.007	0.015	0.089	BDL	0.112	6.93	8.88	46.47	0.21	0.70	BDL
GW24	1.01	12.10	7.44	2.44	14.50	0.020	0.007	0.010	BDL	0.003	BDL	7.14	1.88	30.66	0.22	1.15	BDL	
GW25	0.18	9.44	14.94	4.03	8.04	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	0.026	12.89	14.36	25.43	BDL	2.72	BDL
GW28	0.11	8.90	14.84	5.25	6.81	0.035	0.006	0.011	BDL	0.007	BDL	5.26	16.39	46.18	0.43	1.57	BDL	
GW29	1.08	5.70	7.17	2.91	7.31	0.014	0.007	0.160	BDL	0.003	BDL	2.81	6.15	26.04	BDL	0.60	BDL	
GW30	1.06	5.28	15.24	4.73	7.96	0.100	0.007	BDL	0.035	0.048	BDL	0.031	4.41	28.14	47.04	0.29	BDL	BDL
GW31	0.12	8.02	8.45	2.82	7.38	0.009	0.006	0.011	0.047	0.004	BDL	7.19	8.94	28.90	BDL	1.27	BDL	
GW32	1.01	13.70	43.64	9.77	8.72	0.023	0.006	BDL	0.034	0.015	BDL	7.12	14.19	170.83	0.25	BDL	BDL	
GW35	2.02	21.60	22.14	6.49	7.82	0.362	0.006	0.011	0.036	0.170	BDL	0.009	7.41	8.47	133.88	0.37	BDL	BDL

〈Appendix I. continued〉

(단위: mg/l)

October	K	Na	Ca	Mg	Si	Zn	Cd	Pb	Fe	Mn	Al	Cu	Cl	SO ₄	HCO ₃	F	NO ₃ -N
SW1	2.47	1.63	5.92	2.04	6.06	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	3.42	5.51	25.19	BDL	0.41
SW3	2.85	2.02	13.00	3.67	5.77	BDL	BDL	BDL	0.008	BDL	BDL	BDL	4.13	6.57	51.04	BDL	1.21
SW4	1.73	1.67	17.00	5.84	6.12	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	3.09	7.19	72.23	BDL	0.67
SW6	4.56	2.89	38.00	10.40	8.09	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	7.92	9.70	141.81	BDL	1.65
SW8	7.40	5.79	27.80	6.27	6.16	BDL	BDL	BDL	0.007	0.005	BDL	BDL	13.03	21.98	80.99	BDL	2.63
SW11	6.03	4.65	20.80	5.40	6.93	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	10.20	10.62	65.32	BDL	5.74
SW15	3.21	4.27	24.50	5.33	5.88	BDL	BDL	BDL	0.004	BDL	BDL	BDL	9.75	15.05	73.78	BDL	2.35
SW16	0.58	2.54	5.75	1.20	5.38	BDL	BDL	BDL	0.005	BDL	BDL	BDL	4.04	4.29	26.95	BDL	0.19
SW18	2.43	2.29	13.80	2.92	0.10	BDL	BDL	BDL	0.007	BDL	BDL	BDL	4.57	8.98	49.26	BDL	0.87
SW20	0.79	2.12	13.90	2.91	5.03	4.370	0.051	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	2.47	46.78	14.23	BDL	0.97
SW121	4.07	4.29	24.20	5.06	2.69	0.057	BDL	BDL	0.014	0.009	BDL	BDL	7.04	37.96	56.63	BDL	0.57
SW122	3.05	2.41	14.40	2.48	2.39	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	4.55	10.37	48.31	BDL	0.97
SW123	2.54	2.29	16.70	3.17	0.90	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	4.41	9.15	57.31	0.33	0.97
SW21	3.73	1.82	28.40	7.86	5.77	BDL	BDL	BDL	0.014	0.007	0.006	BDL	3.77	7.60	117.50	0.46	0.65
SW22	2.52	1.74	22.60	6.47	6.28	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	3.94	7.07	97.20	0.52	0.38
SW23	3.04	2.48	23.60	7.26	5.82	BDL	BDL	BDL	0.004	BDL	BDL	BDL	6.79	7.38	103.44	0.56	0.45
SW26	10.55	5.10	25.20	6.52	5.03	BDL	BDL	BDL	0.006	0.018	BDL	BDL	14.42	12.98	108.40	0.42	2.49
SW27	5.74	4.70	29.00	7.83	4.67	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	12.31	32.53	100.10	0.59	2.15
SW28	7.39	4.98	27.20	7.05	4.37	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	14.09	28.28	97.59	0.71	2.15
SW29	2.95	4.07	12.10	2.37	5.35	0.167	BDL	BDL	0.004	BDL	BDL	BDL	9.60	29.36	23.53	BDL	0.85
SW33	5.57	4.75	28.10	6.62	3.65	BDL	BDL	BDL	0.022	0.013	0.001	BDL	13.00	30.55	95.85	BDL	1.14
SW34	4.99	4.71	28.50	6.64	3.53	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	13.12	31.01	94.00	BDL	1.11
GW2	1.88	4.17	20.60	4.78	9.11	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	5.09	7.92	76.06	0.44	2.56
GW5	1.25	20.47	20.60	3.97	8.73	0.015	BDL	BDL	BDL	0.009	BDL	BDL	28.67	11.73	113.13	1.03	1.05
GW7	7.59	9.66	19.80	5.15	12.00	0.053	BDL	BDL	0.044	BDL	BDL	BDL	18.01	15.51	47.33	BDL	9.94
GW9	4.93	11.77	32.50	6.59	10.80	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	24.56	20.97	49.26	BDL	16.26
GW10	1.46	12.97	49.30	12.10	5.61	0.022	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	10.09	14.04	213.67	0.79	1.52
GW12	1.32	4.28	12.40	4.30	10.50	0.173	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	6.84	4.51	50.40	0.76	4.31
GW13	5.85	6.32	14.10	4.73	7.81	0.022	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	27.25	11.51	14.28	BDL	8.29
GW14	7.42	12.17	19.30	4.92	7.68	0.059	BDL	BDL	0.006	BDL	BDL	BDL	34.36	13.54	48.28	BDL	7.10
GW17	0.95	3.19	6.34	1.51	8.86	0.016	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	3.55	4.52	30.85	BDL	1.35
GW19	0.79	2.50	3.04	2.24	4.79	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	3.57	9.46	39.74	BDL	BDL
GW23	14.45	4.46	6.11	1.84	9.39	0.017	BDL	BDL	0.044	0.035	BDL	BDL	12.63	11.76	24.09	BDL	4.97
GW24	1.59	6.39	14.00	4.10	12.20	BDL	BDL	BDL	0.024	0.062	BDL	BDL	9.41	12.20	52.14	BDL	2.84
GW25	24.95	10.27	22.30	5.76	8.740	0.053	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	25.05	19.59	26.34	BDL	16.83
GW28	10.10	5.80	14.30	5.06	6.44	0.047	BDL	BDL	0.008	0.010	0.011	BDL	7.20	20.55	51.62	BDL	3.69
GW29	1.84	3.52	9.17	3.36	8.15	0.012	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	5.05	7.96	30.98	BDL	3.90
GW30	1.46	2.78	14.50	4.41	8.36	0.110	BDL	BDL	0.051	0.037	BDL	BDL	5.00	23.11	44.33	BDL	0.21
GW31	6.74	4.10	12.90	3.73	6.82	0.014	BDL	BDL	0.032	BDL	BDL	BDL	8.08	14.31	39.20	BDL	2.72
GW32	0.94	9.71	44.10	10.10	8.98	0.024	BDL	BDL	0.070	0.015	BDL	BDL	8.52	17.97	175.03	BDL	0.37
GW35	2.15	15.07	24.90	6.00	8.27	0.245	BDL	BDL	0.092	0.154	BDL	BDL	14.43	9.90	138.03	0.26	BDL