

울진 왕피리 지역 리튬 광상 탐사를 위한 하천수 내 잠재적 길잡이 성분

문권영 · 유재영[‡] · 노진환
강원대학교 지질학과

요 약

울진 왕피리 지역에는 장군석회암층을 관입한 페그마타이트를 따라 리튬(Li) 운모 광상이 배태되어 있다. 이 지역 및 주변 지역의 추가적인 Li 광상 탐사를 위해, 이미 발견된 Li 광체의 광석과 그 주변의 하천수를 채취하여 분석하고, 그 결과로부터 광체탐사의 길잡이가 될 만한 하천수 용존 원소가 있는지 살펴보았다. 광석 및 하천수 시료에 대해서는 주성분 및 부성분 원소의 함량을 측정하였고, 하천수에 대한 측정 및 분석값들은 상관관계 및 요인 분석하였으며, 투키박스도시법(Tukey boxplot)을 이용해 이상값을 구분하였다. 통계분석 결과, 하천수 내에서 인지된 이상값 대부분이 오염에 기인한 것으로 판단되었다. 오염에 의한 영향이 적고 광물-물 간의 반응에 의해 이상값이 나타난 것으로 해석되는 곳은 오직 하나의 시료 채취 지점에서인데, 이 지점에서 Li, Ca, K, Mg, SO₄, 그리고 Ni이 이상값을 보였다. 이 중 Li과 Mg만이 뚜렷하게 Li 광물의 용해로부터 유래된 것으로 해석되어, 이들 원소가 Li 광상 탐사를 위한 길잡이 원소가 될 수 있을 것으로 기대한다.

주요어: 울진, 리튬 광상, 투키박스도시법, 요인분석, 길잡이원소

Gwon-Young Moon, Jae-Young Yu and Jin Hwan Noh, 2014, Potential pathfinder in the stream water for the exploration of Li deposits in Wangpiri area. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 2, p. 215-230

ABSTRACT: Li deposits are emplaced along the pegmatite veins intruding the Jangun Limestone, in Wangpiri area, Wooljin, Korea. The ore and stream water samples around the known Li deposits were collected and chemically analyzed in order to identify possible path-finder elements for the exploration of additional Li deposits. The thresholds to recognize anomalies of the analyzed concentrations were estimated with the Tukey boxplot. Factor analyses on the concentrations of the dissolved components in the water samples indicated that most of the recognized anomalies are due to pollution. The anomaly at only one site is likely to be the result of water-mineral interaction, where Li, Ca, K, Mg, SO₄, and Ni show anomalies. Among these dissolved components only Li and Mg are believed to originate from the dissolution of Li-bearing minerals. Therefore, Mg has enough potential to be the pathfinders of Li deposit.

Key words: Wooljin, Lithium-ore deposit, Tukey boxplot, Factor analysis, Pathfinder

(Gwon-Young Moon, Jae-Young Yu and Jin Hwan Noh, Department of Geology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Republic of Korea)

1. 서 론

원자번호 3인 리튬(Li)은 알칼리 금속 원소로 주로 도자기 및 유리, 전지, 윤활제, 합금 및 기타 여러 제품을 만드는데 필수적으로 이용되는 중요한 원소이다(Jaskula, 2012). 특히 최근에는 전기 자동차의 상용화를 위한 연구가 활발히 진행되면서, 여기에 사용되는 배터리의

원료로서 리튬이 큰 관심을 끌고 있다(Kesler *et al.*, 2012). Li은 주로 염수나, 페그마타이트 및 퇴적암 내에 형성된 광석으로부터 추출되는데(Stempork and Sulcek, 1969; Mulligan, 1973; Chan *et al.*, 1993; Gummow *et al.*, 1993; Gupta and Manthiram, 1996; Takamura *et al.*, 2004), 염수 내에서는 용존 성분으로, 페그마타이트나 퇴적암에서는 스포두민(spodumene; LiAlSi₂O₆), 페

[‡] Corresponding author: +82-33-250-8557, E-mail: jyu@kangwon.ac.kr

타라이트(petalite; $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$), 레피도라이트(lepidolite; $\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Al,Si})_3\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$)와 같은 광석 광물로 존재한다(Heier and Billings, 1978; Gruber *et al.*, 2011).

연구 지역인 경상북도 울진군 서면 왕피리에 있는 광산은 과거에 리튬을 생산했던 곳이다(Koh *et al.*, 2010). 이 지역의 광화대 및 광화 작용에 대한 연구는 몇몇 수행된 바 있으나 리튬 광화대에 대한 직접적인 연구는 아직까지 보고된 바가 없다. Moon and Park (1994)은 연구 지역 주변 통고산 부근의 화강편마암체와 이와 평행하게 발달한 페그마타이트의 광화 작용 및 변질 작용에 대해 기술하였고, Chon and Son (1995)은 이 지역의 주석(Sn) 광산의 광석광물과 석석광물의 화학조성을 연구하여 마그마 분화규정을 규명하였다. 이들 연구는 암석 화학 및 석석 광화 작용에 초점을 맞추어 수행되었으며, Li 광화 작용에 대한 것은 크게 언급되지 않았거나 부차적으로만 다루어졌다.

더욱이 Li 광산에 대한 정확한 기재와 탐사에 대한 연구는 현재까지 거의 수행된 적이 없는 실정이다. 더욱이 Li 광산 탐사를 위한 지구화학적 연구는 외국에서는 종종 수행되었으나(Lasmanis, 1978; Loring, 1990) 우리나라에서는 전혀 이루어진 적이 없다.

이 연구는 국내 희유금속 광화대 광상탐사 및 자원 확보의 일환으로, 울진 왕피리 지역에 존재하는 리튬 광산의 탐사를 위해 지구화학적 길잡이 원소를 분별하기 위한 것이다. 이러한 연구 목적 달성을 위해 광체 주변의 하천수 시료를 채취하였으며, 채취된 시료를 화학적으로 분석하고, 이 분석 결과에 대한 통계적 해석을 통해 길잡이 원소를 특정하려 노력하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구 지역

연구 지역은 북위 $36^{\circ}52'54''$ 에서 $36^{\circ}54'59''$, 동경 $129^{\circ}12'14''$ 에서 $129^{\circ}14'48''$ 를 차지하는 지역으로, 행정구역상 경상북도 울진군 서면 왕피리에 속한다(그림 1). 연구 지역은 하부로부터 선캄브리아 시대의 원남층, 동수곡층, 장군석회암층으로 구성되어 있고, 그 상부를 부정합으로 덮은 울리층과 그것을 관입한 분천화강편마암과 그리고 중생대에 관입한 화성암류로 이루어져 있다(Yun and Shin, 1963; 그림 1).

연구 지역 내에는 해발 1,000 m가 넘는 통고산이

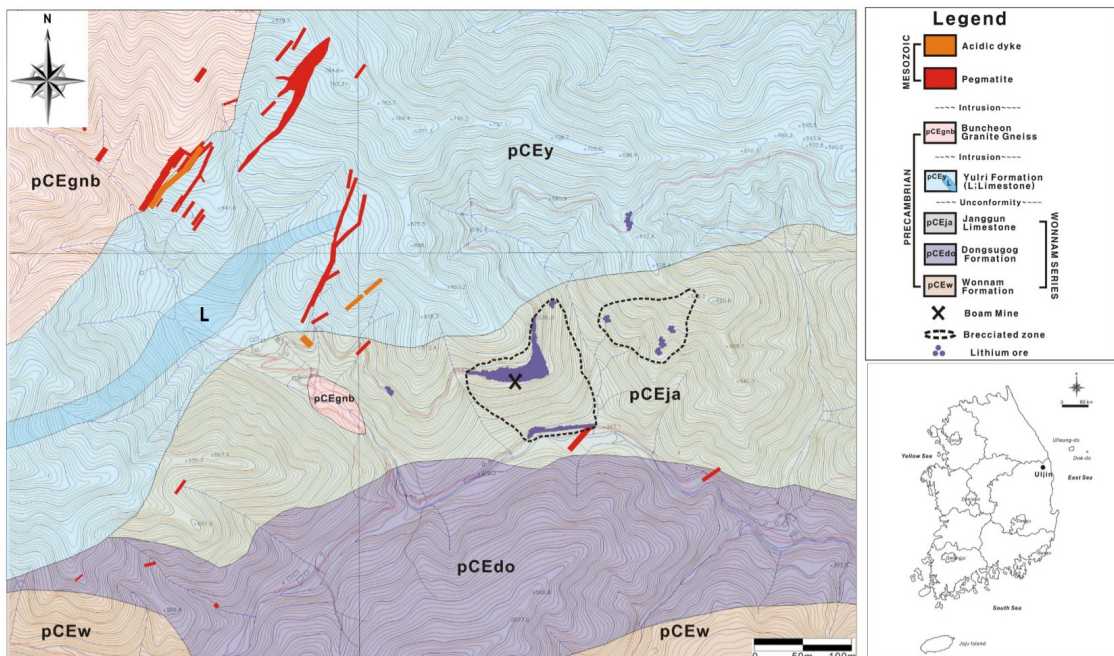


Fig. 1. Geology map of the study area.

연구 지역 서쪽에 위치하고 있다. 이 때문에 이 지역의 지형은 험준하고, 경사는 약 25~50° 정도로 가파른 편이며, 하천수의 흐름이 빠르고, 토양은 발달이 매우 불량하다. 연구 지역의 하천수는 전체적으로 수지상 하계망 패턴을 보이며, 북서쪽 지역의 지류와 남서쪽 지역의 지류가 Li 광산의 남서쪽 부근(27W-1)에서 합류하여 동쪽으로 흘러간다(그림 2). 연구 지역 지형도에 표시된 하천들은 주요 지류와 본류를 제외하고는 건천인 경우가 많으며, 물이 흐르더라도 유량이 적은 편이다.

연구 지역에는 금강송 및 희귀 동식물이 서식하고 있어서 환경부에 의해서 생태·경관보전지역으로 지정되어 있기 때문에 오염 물질 유입이 타 지역에 비해 매우 적은 편이다. 연구 지역의 잠재적 오염원으로는 과거 사람들이 살던 집터와 경작한 적이 있는 밭이 존재한다(그림 2). 울진의 연평균 기온은 약 12.3°C이며 일교차가 매월 약 9°C로 일정하다. 울진의 연평균 강수량은 약 785 mm이며 2~5월, 7~9월

에 전체 강수량의 약 85%가 집중되어 내린다(KMA, 2010).

2.2 시료 채취 및 분석

연구 지역에는 이미 Li 광상을 개발하기 위한 갱도가 굴진되어 있는데, 이 갱도 중 하나는 과거에, 다른 하나는 최근에 만들어진 것이다. 이 연구의 광석 시료는 이 갱도에 진입하여 채취하였다. 채취된 광석 시료는 50mesh 이하로 분쇄했다. 광석 성분은 기초 과학지원연구원 서울 분소에 의뢰하여 XRF로 SiO₂, Al₂O₃, FeO, CaO, Na₂O, MgO, K₂O, P₂O₅, TiO₂, MnO를 그리고 ICP-AES로 Li, Be, Ba, Br, Cr, Sr, Zn, Zr, Ni, Ga, As, Rb, Nb, Pb, U를 분석하였다.

하천수 시료는 지형도 상에 표시된 수계망을 기초로 하여 Li 광산 주변을 포함한 연구 지역 전역에 채취 지점이 고르게 분포되도록 채취하였다. 많은 하천이 강수 직후 이외에는 하천수가 존재하지 않으며, 지형이 험준하여 시료 채취 장비를 휴대한 채로

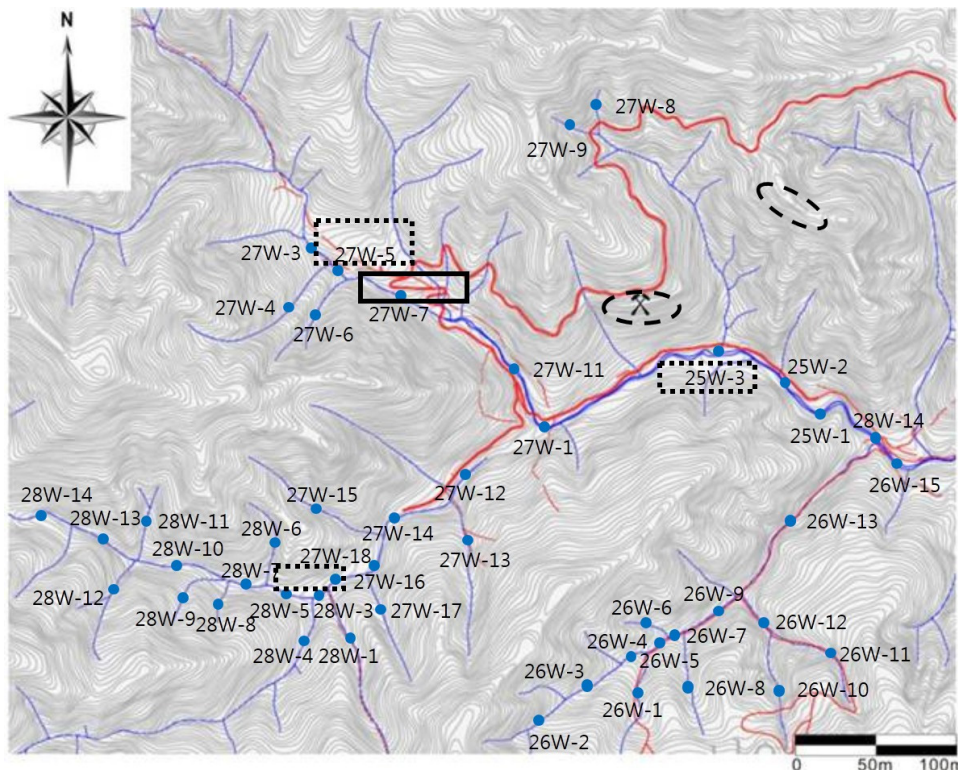


Fig. 2. Location of the sampling sites in the study area. The broken ellipsoids represent the locations of the Li-bearing deposits. Left one is newly found Li-bearing deposits. The solid and broken rectangle represent the locations of the house and farm fields, respectively.

접근하기 매우 어려워 적절하게 시료채취하기가 상당히 까다롭다. 그림 2는 몇 차례의 시료 채취 시도 중 시료가 가장 전체적으로 고르게 분포되도록 채취된 2011년 9월의 하천수 시료 채취 지점을 나타낸 것이다. 이 연구의 모든 결과는 이들 지점에서 채취된 시료들을 대상으로 한 것이다.

하천수 시료는 각각 500 ml씩 채취하여 0.45 µm 공극 크기를 갖는 여과지를 사용해서 여과하고, 이중 250 ml는 진한 질산으로 산처리 하여 따로 보관하였다(Appelo and Postma, 1993). 여과 및 산처리를 한 시료들은 모두 화학 분석 전까지 4°C에서 냉장보관 하였다. 하천수의 온도, pH, Eh 및 전도도(EC)는 현장에서 하천수 시료를 채취할 때 함께 측정하였다. 하천수 시료의 알칼리도는 시료를 실험실로 운반해 온 직후 여과한 부분 시료를 이용하여 그랜 방법(Wetzel and Likens, 2000)으로 측정하였다. 하천수 시료의 탄산 이온의 양은 측정된 알칼리도로부터 이론적으로 계산하였다(Stumm and Morgan, 1981). 하천수 시료의 용존 성분 중, Na, K, Mg, Ca 및 Si 성분은 ICP-AES로 Li, Ni, Rb, Cd, La, Nd 및 Er은 ICP-MS로 기초과학지원연구원 서울 분소에서 분석하였고, 그리고 F, Cl, NO₂, NO₃ 및 SO₄ 성분은 서울대학교 농생명과학공동기기원에 의뢰하여 IC로 분석하였다.

2.3 통계 분석 및 이상값의 구분

하천수 성분의 분석 자료들을 대상으로 기초통계 처리 후 상관분석과 요인분석을 하였다. 모든 통계 분석에 있어서 자료값은 표준화 한 값들을 사용하였다. 요인분석은 주성분분석법을 사용했고, 요인 축의 회전은 베리맥스(varimax)회전법을 선택했다.

지구화학 탐사에서는 배경값으로부터 이상값을 구분해 내야 한다. 이상값을 구분하는 방법은 여러 가지가 있는데, 그 중 가장 널리 쓰이는 방법으로는 분석 자료의 누적도수분포곡선의 변곡점이나 분리점으로부터 추정하는 방법(Tennant and White, 1959), 정규분포를 가정하여 평균 ± 2×표준편차를 경계로 구분하는 방법(Hawkes and Webb, 1962), 단순 분포를 바탕으로 중앙값 ± 2×절대중앙편차 값을 기준으로 구분하는 방법(Tukey, 1977), 그리고 투키박스도시법(Tukey boxplot, 혹은 휘스커박스도시법; Whisker boxplot)을 이용해서 이상값을 구분하는 방

법(Tukey, 1977) 등이 있다. Reimann *et al.* (2005)은 지구화학 자료의 특성을 토론하고, 시료의 전체 개수와 이상값을 갖는 시료의 상대적 비율을 변화시키며 모사실험을 통해 위 방법들의 적용성을 비교 분석하였다. 그 결과 투키박스도시법이 시료의 개수나 분포(정규분포, 로그정규분포)에 영향을 덜 받을 뿐만 아니라, 이상값을 갖는 시료의 개수가 전체의 10% 미만일 경우 가장 좋은 효율을 보이는 것으로 나타났다. 이번 연구에서는 문턱값을 결정하기 위해 이 투키박스도시법을 사용하였다.

투키박스도시법을 통해 문턱값을 설정하는 방법은 아래 식(1) 및 (2)와 같다:

IQR (Inner Quartile Range)

= 3사분위 값 - 1사분위 값

상위 문턱값 = 3사분위 + 1.5 × IQR (1)

하위 문턱값 = 1사분위 - 1.5 × IQR (2)

(이때 IQR은 도시되는 상자의 길이로 전체 자료의 50%를 포함하며, 3사분위와 1사분위 값은 각각 자료의 75%와 25%에 해당하는 수가 된다. 식(1)의 결과 값보다 큰 값과 식(2)보다 작은 값들이 이상값이다.)

3. 결 과

3.1 자료의 분포

지구화학 자료는 보통 다양한 과정을 통한 여러 차례의 지구화학 작용을 반영하기 때문에 단순 정규분포를 따르지 않음은 매우 잘 알려진 사실이다(Razumovsky, 1940; Ahrens, 1954). 특히 광화대에서는 기존 성분에 더해 광화 작용에 의해 특정 성분의 부화가 이루어지기 때문에 이들은 다중 분포를 보여준다. Reinman *et al.* (2005)은 모사 실험을 통해 이런 경우 단순정규분포를 가정하여 통계적으로 이상값을 구분하는 것보다 투키박스도시법을 사용하는 것이 가장 효율적인 이상값 구분법임을 보여줬음은 이미 설명하였다.

그림 3은 분석된 시료의 양이온 및 음이온 주성분과 몇몇 미량성분의 농도 분포를 도시한 것이다. 어느 것도 단순 정규 분포를 보여주는 것은 없으며, Ca와 Li 등 몇몇은 조금 더 분명하게 다중 분포를 갖는 것처럼 보인다.

3.2 광석의 화학 성분

분석된 광석의 화학 성분을 부록 1에 정리하였다. 광석의 Li 함량은 6.58에서 8.78 wt%의 범위를 보인다. 또한 광석은 리튬운모인 레피도라이트 구성되어 있어 K, Al 성분이 다른 성분들에 비해 높게 나타난다. 부성분 중 Be, Zn, Pb 등은 다른 성분들에 비해 대부분 높은 함량을 보이는 반면, Ni, As, Rb, Nb 등은 특정 광석에서 선택적으로 높은 함량을 보이는 것으로 나타났다.

3.3 하천수의 현장 수질

현장에서 측정한 하천수의 온도, pH, Eh 및 EC를 부록 2(표2-1)에 정리하였다. 하천수의 온도는 17.8에서 20.4°C(평균 18.9°C), pH는 5.57에서 7.16(평균 6.42), Eh는 400에서 318 mV(평균 226 mV), EC는 31.3에서 215 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (평균 73.8 μC)의 범위를 보인다.

그림 4의 투키박스도시 결과에 따르면, pH의 문턱값은 상하로 각각 7.75 및 5.05이며 모든 측정값들은 이 범위 내에 들어 특별한 이상값을 보이지 않는다

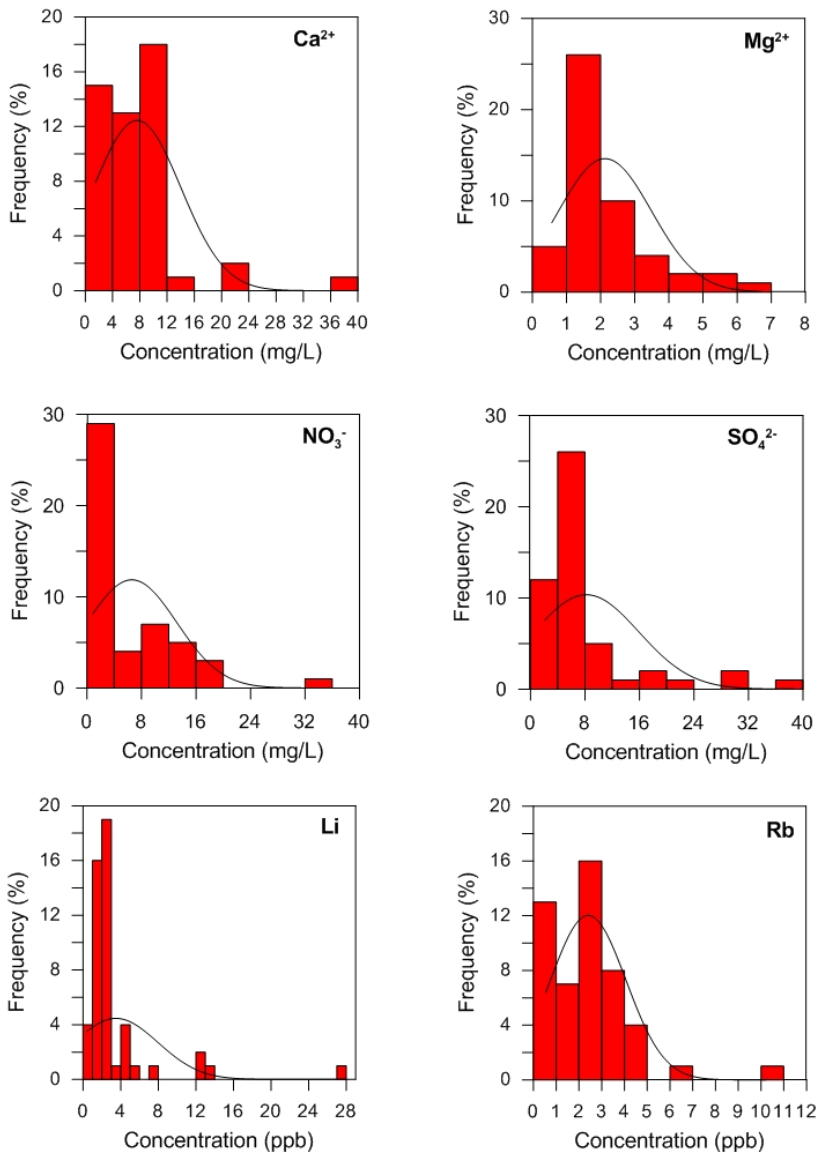


Fig. 3. Frequency histograms of some dissolve component concentrations. The solid curves represent normal distributions.

것으로 판단되었다. 연구지역 내에는 장군석회암층을 비롯한 많은 석회암층을 구성하는 탄산염 광물이 존재한다. 만약 하천수가 이들 탄산염 광물과 충분히 반응했다면 연구지역의 pH는 측정된 값보다 훨씬 높아야 한다. 따라서 연구 지역 하천수의 측정된

pH는 이들 하천수가 암석과 충분히 반응할 시간을 갖지 못했음을 지시한다고 볼 수 있다. 하천수의 물-암석 반응이 충분치 못했음은 그림 5의 김스다이어그램 상에서도 추측할 수 있다.

이상값을 보이는 시료채취 지점 중, 27W-1, 2 및 11은 과거 인가가 위치했던 곳 주변이고, 27W-4, 5, 6, 8 및 15는 밭과 같은 경작지 주변이어서 오염에 의해 이상값이 나타날 수도 있음을 짐작해 볼 수 있지만, 27W-9는 주변에 오염원이 될만한 것이 없어 이 지점의 이상값이 물-암석 반응에 의한 것일 가능성이 높다.

3.4 하천수의 화학조성

3.4.1 주성분

부록 2(표 AII-2)에 하천수의 주요 용존 성분에 대한 화학분석 결과들을 정리하였다. 이들 분석된 주요 용존 성분들에 대해 투키박스도시법을 적용한 결과 Ca, Mg, K, F, NO₃, SO₄ 등이 이상값을 보였다(그림 6, 7). 그림 8은 이들 성분들 중 Ca, Mg, NO₃ 및 SO₄의 시료채취 지점에서의 이상값 유무와 농도값을 기준으로 계산된 농도구배를 보여주는 것이다. 이 용존 성분들 중에서 Ca은 문턱값이 17.06 mg/L,

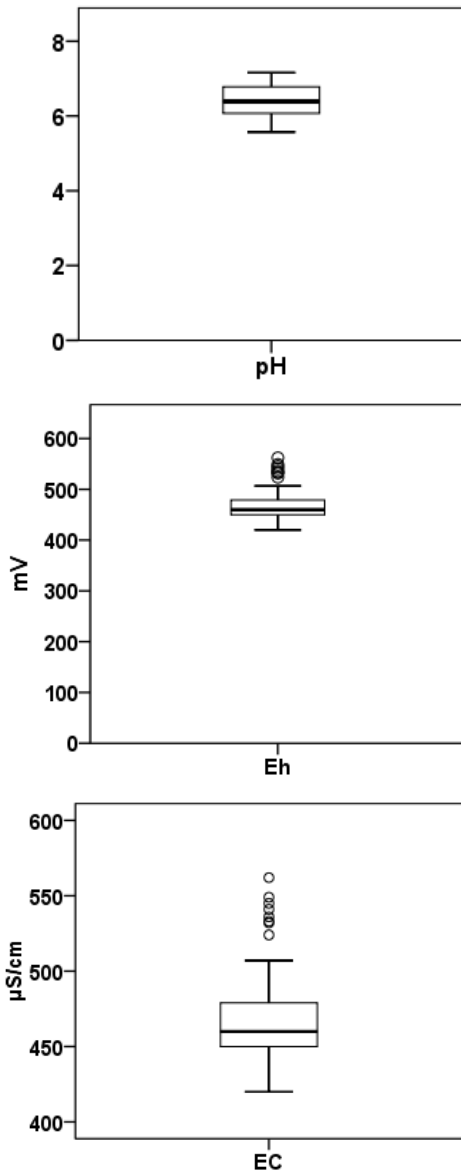


Fig. 4. Tukey boxplot of the field measured water quality parameters. The open circles are the outliers. The stars are the far outliers. The Outliers are the values that are higher than the threshold value. The far outliers are the values that are higher than three times of the threshold value.

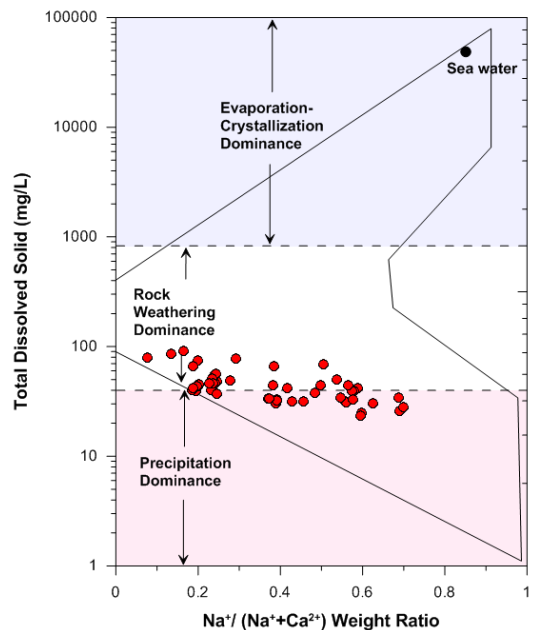


Fig. 5. Stream water chemistry from study area on a Gibbs diagram (Gibbs, 1970).

Mg은 문턱값이 3.87 mg/L, K은 문턱값이 1.3 mg/L, SO₄는 문턱값이 11.05 mg/L로 나타났으며, 27W-9 지점에서 이 성분들이 이상값을 보였다.

3.4.2 미량원소 성분

부록 2(표 AII-3)에 하천수의 미량원소 성분들에 대한 분석 결과들을 정리하였다. 분석된 성분들은 Li, Ni, Rb, Cd, La, Nd, Er이고, 이들 중 Cd, La, Nd, Er은 대 부분의 지점에서 검출한계(0.1 µg/L) 이하로 나타났다. 이 네 가지 성분을 제외한 Li, Ni, Rb 성분들에 대해 투키박스도시법을 적용한 결과 세 가지 성분 모두에서 이상값이 관찰되었다(그림 9). 그림 8은 이 성분들 중에서 Rb과 Li의 시료채취 지점에서의 농도를 기준으로 계산된 농도구배를 보여주는 것이다.

4. 토 의

4.1 용존 성분에 대한 통계분석

표 1는 하천수 시료의 분석된 화학 조성을 대상으로 요인분석한 결과로, 이 요인들은 전체 분산의 75% 이상을 나타낼 수 있도록 추출된 것이다. 추출된 요인 중, 요인 I은 SO₄, Li, Mg, Ni 및 Rb, 요인 II는 Na와 H₄SiO₄, 요인 III은 NO₂와 Ca, 그리고 요인 IV는 NO₃와 K의 농도에 의해 주로 규제되고, 이들의 전체 자료 분산에 대한 기여율은 각각 30.75%,

18.76%, 16.19%, 12.19%이다.

이러한 요인들을 규제하는 성분들 간의 상관관계를 알아보기 위해 상관분석을 하였다(표 2). Li-광체를 직접적으로 지시하는 Li은 Mg (상관계수, r=0.845) 및 SO₄(r=0.923)와 높은 상관성을 갖는다. Mg은 그 양이 많지는 않지만 Li과 함께 연구 지역 광석의 주구성광물인 레피도라이트와 다른 Li-광석 광물의 주요 구성 성분이다(부록 1). 따라서 Mg은 광석광물로부터 용탈되어 공급되었을 가능성이 높다. Mg은 Li 뿐만 아니라 SO₄와도 매우 높은 상관성을 보이고(r=0.923), K와도 비교적 높은 상관성을 보인다(r=0.627). 이전 연구를 살펴보면 Li은 Mg과 상관성이 높았고, Rb, K 등과도 높은 상관관계를 보였다(Tischendorf *et al.*, 1997, 1999). SO₄는 Li (r=0.933), Mg (r=0.923) 및 K (r=0.622)와 높은 상관 관계를 보이는데 반해, Cl (r=-0.235), NO₂ (r=0.234), NO₃ (r=0.139) 와는 낮은 상관성을 보여주는 것으로 볼 때, 오염보다는(황철석과 같은) 광물과의 반응으로부터 유래했음을 짐작할 수 있다. Yu *et al.* (1994)은 K가 SO₄와 높은 상관성을 보이는 이유를 백운모가 카올리나이트로 풍화되는 반응과 여기서 반응한 물이 암석 내의 황화 광물을 산화시키는 다음과 같은 반응식으로 설명하였다.

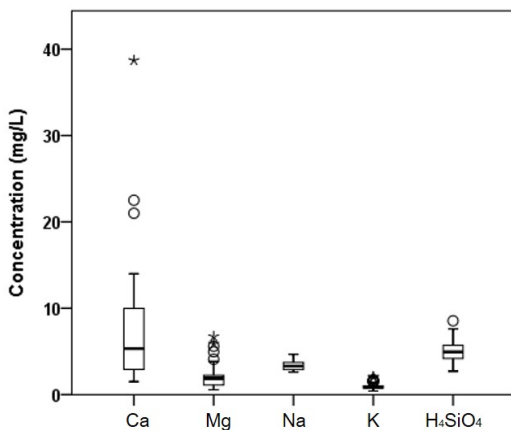
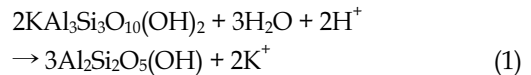


Fig. 6. Tukey boxplot of the cationic component concentrations of the water samples from the study area. The symbols are the same as in Fig. 4.

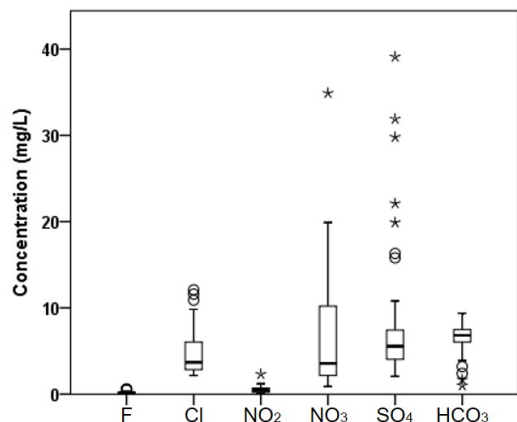
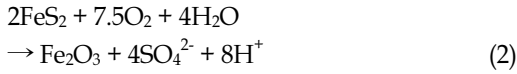


Fig. 7. Tukey boxplot of the anionic component concentrations of the water samples from the study area. The symbols are the same as in Fig. 4.



연구지역에서도 또한 SO_4 가 Li, Mg, K가 높은 상관성을 보이는 이유를 레피돌라이트($\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$) 용해반응과 황화광물의 산화 반응으로 설명할 수 있을 것이다. Na과 H_4SiO_4 는 $r=0.819$ 로 유일하게 서로 높은 상관성을 보여, 이들이 사장석과 같은 Na-규산염 광물의 풍화로 공급되었을 가능성을 지시한다. Ca은 Mg과 $r=0.655$ 의 상관성을 보여 연구 지역의 석회암으로 인한 용존 성분의 특성을 반영한다고 볼 수 있으나, 동시에 또한 NO_2 와도 $r=0.882$ 라는 높은 상관성을 오염에 의해서도 상당량 유입되는 것으로 추측된다.

이상과 같은 성분 간의 상관관계 특성을 살펴보았을 때, 연구 지역 하천수의 화학조성 분산에 기여한 요인 I은 Li-광물의 용해 및 그에 수반되는 반응, 요인 II는 Na-규산염 광물의 용해, 요인 III은 오염에 의한 것으로 추정된다.

4.2 이상값 분포

분석한 용존 성분들 중 Na를 제외한 모든 성분이 이상값을 보인다. 이들 이상값을 보이는 지점의 대부분은 인간의 활동이 있었던 곳으로 오염 가능성이 높은 곳이다. Mg, K 및 SO_4 가 이상값을 보이는

27W-10은 현재 사람이 살고 있으며, 가축을 사육하고, 밭을 경작하는 지역으로 생활용수, 비료 등 여러 오염물의 유입이 있을 수 있다. Ca, Mg 및 K가 이상값을 보이는 27W-11과 27W-15는 과거 사람이 살았던 지역으로 현재 폐건물 및 경작지 터가 존재하고 있어서 비가 올 때마다 이곳으로부터 과거에 축적되었던 오염물질의 누출이 의심된다. 이에 반해, 27W-9는 Ca, Mg, K, SO_4 , Li 및 Ni 이 이상값을 보인 곳인데, 다른 지점과는 달리 주변에 뚜렷한 오염원이 없어 이들 이상값이 자연적으로 만들어진 것으로 보인다. 특히 Li, Ni, Mg 및 SO_4 가 이 지점에서 가장 높게 측정되었음은 주목할 만하다.

하천수의 수질은 지질, 지형, 기후, 오염원 등 많은 요소들에 의해 결정되지만, 연구 지역에서 채취된 시료들 간의 차이는 이들 요소 중 주로 오염원의 존재 여부 및 국부적인 물-암석 반응의 차이에 의해서 좌우된다고 생각할 수 있다. 27W-9 지점은 주변에 오염원이 존재하지 않으므로, 이곳의 이상값들은 우리가 찾고자하는 광체의 존재로 인한 것일 가능성이 있다. 무엇보다도, 이 지점에서의 광체의 직접 지시원소인 Li의 함량이 높은 것과 앞 선 요인분석에서 Li과 함께 수질의 분산에 기여하는 SO_4 과 Mg 모두 이상값을 보이는 것이 이런 가능성을 뒷받침한다. 이런 이유로, 이 지점에서 이상값을 보이는 모든 원소들이 길잡이원소가 될 가능성이 있다. 하지만,

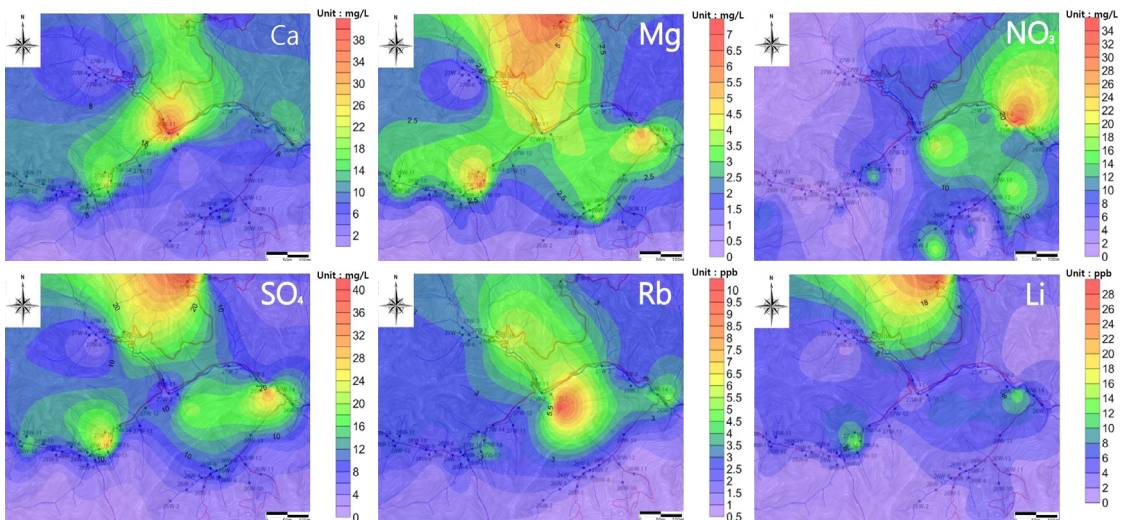


Fig. 8. Contouring map of the isopleths of the major component concentrations (ppm) and the trace element concentrations (ppb) of the water samples from the study area.

Table 1. Factor matrix for the compositional variables of the water samples.

Variable	Factor I	Factor II	Factor III	Factor IV
SO ₄	0.954	0.070	0.121	0.113
Li	0.886	0.166	0.135	0.024
Mg	0.878	0.049	0.384	0.143
Ni	0.788	0.064	-0.203	0.151
Rb	0.652	-0.492	0.254	0.098
Na	0.199	0.875	-0.040	0.009
F	0.165	-0.858	-0.062	-0.239
H ₄ SiO ₄	0.464	0.775	-0.287	-0.122
NO ₂	0.168	-0.234	0.902	0.157
Ca	0.400	-0.373	0.723	0.299
HCO ₃	-0.032	0.194	0.583	-0.307
NO ₃	-0.007	0.015	-0.260	0.807
K	0.545	0.088	0.339	0.617
Cl	-0.158	-0.072	-0.186	-0.574
Eigenvalues	6.30	4.72	4.48	3.66
% of variation	30.8	18.8	16.2	12.2
Cumulative (%)	30.8	49.7	65.9	78.1

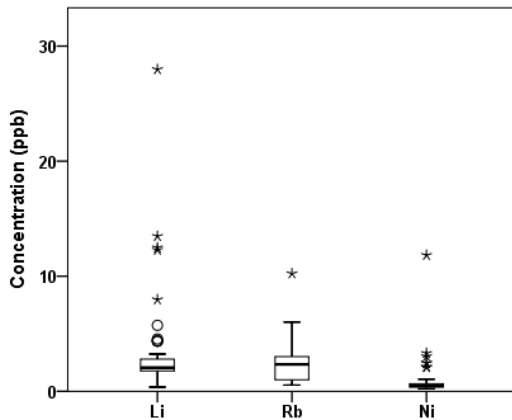


Fig. 9. Tukey boxplot of the trace elements concentrations of the water samples from the study area. The symbols are the same at Fig. 4.

이들 중 오염에 의한 것으로 판단된 요인 III과 IV를 구성하는 Ca과 K는 제외되어야 하며 SO₄는 Li 광물의 용해가 아닌 황철석의 산화 같은 이차적 반응의 생성물이어서 항상 이상값을 보인다는 보장이 없으며, Ni은 SO₄를 제외한 다른 성분들과의 상관성이 거의 없을 뿐만 아니라, 광석 내의 함량도 일정치 않으므로(부록 1) 길잡이 원소로는 부적절하다. 이러

한 이유로 물과 Li-광석광물 간의 직접 반응에서 유래될 것으로 기대되는 Li과 Mg이 광체를 발견하기 위한 길잡이 원소가 될 가능성이 높다고 하겠다.

잠재적 길잡이원소가 이상값을 보이는 27W-9 지점은 이미 발견된 Li-광체의 보다 상류 쪽에 존재하므로, 이곳의 이상값들이 이들 발견된 광체로 인해 만들어졌다고 생각하기는 어렵다. 연구지역에 대한 지질조사는 1970년대 이후 거의 이루어지지 않아, Li 광화대가 모두 확인되지 않았을 가능성이 크다. 지질도에 광화대가 표시되지 않은 곳곳에 채광한 지점이 존재하는 것으로 보아, 27W-9 지점의 상류에도 확인되지 않은 광체가 지하에 존재하여 관찰된 이상값들을 유발하였을 가능성이 있다. 이미 가행되고 있는 광산 하류 쪽에 뚜렷한 이상값이 관찰되지 않는 것은 충분히 근접한 지역의 하천수 시료를 채취할 수 없었으며, 다른 곳으로부터 합류되는 하천수에 의해 충분히 희석되었기 때문인 것으로 판단된다.

연구 지역 내 하천은 건천으로 존재하고 있는 곳이 많고 접근이 불가능한 곳도 많아, 시료 채취가 연구 지역 내에 고르게 분포하도록 진행되지 못했음은 이미 언급하였다. 이로 인해, 제한된 자료로부터 예측한 전 지역적 농도분포가 부분적으로 실제 농도

Table 2. Correlation coefficients among the dissolved components in the water samples from the study area.

	Ca	Mg	Na	K	H ₄ SiO ₄	F	Cl	NO ₂	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Li	Ni	Rb
Ca	1.000													
Mg	0.655	1.000												
Na	-0.198	0.270	1.000											
K	0.533	0.672	0.328	1.000										
H ₄ SiO ₄	-0.288	0.373	0.819	0.311	1.000									
F	0.242	-0.015	-0.570	-0.231	-0.451	1.000								
Cl	-0.197	-0.226	-0.048	-0.320	-0.065	0.129	1.000							
NO ₂	0.882	0.503	-0.148	0.386	-0.328	0.101	-0.284	1.000						
NO ₃	0.048	0.088	0.124	0.416	0.140	-0.221	-0.240	-0.239	1.000					
SO ₄	0.453	0.923	0.278	0.622	0.468	0.024	-0.235	0.234	0.139	1.000				
HCO ₃	0.155	0.136	0.049	-0.044	0.043	-0.077	0.020	0.258	-0.133	0.018	1.000			
Li	0.393	0.845	0.348	0.517	0.464	-0.016	-0.207	0.212	0.039	0.933	0.036	1.000		
Ni	0.170	0.620	0.163	0.516	0.470	-0.047	-0.181	-0.021	0.162	0.699	-0.078	0.563	1.000	
Rb	0.404	0.562	0.112	0.583	0.263	0.298	-0.066	0.204	0.226	0.557	0.117	0.424	0.408	1.000

분포와 차이가 있을 수 있다. 이와 같은 부족한 점은 앞으로 하천수 자료가 더욱 모일수록 개선될 것으로 기대하며, 또한 차후 자세한 토양 지구화학 탐사가 병행되면 길잡이 원소의 구분과 이를 이용한 광체 탐사에 있어 조금 더 정확하고 신뢰도가 높은 결과를 얻을 것이라 기대한다.

5. 결론

이 연구에서는 울진 왕피리 리튬 광체의 지구화학 탐사를 위해 광상 주변 하천수의 화학 조성을 살피고, 그로부터 리튬 광상을 지시할 수 있는 길잡이 원소를 찾기 위해 노력하였다. 길잡이 원소는 광체와 가까운 곳에서 용존 성분의 이상값을 보여, 주변 광체의 존재를 지시할 수 있는 원소여야 하므로, 용존 성분의 함량의 이상값 여부를 투기박스도시법을 이용하여 우선 판단하였다. 관찰된 이상값들에 대해서는 상관관계 및 요인 분석을 하였다. 그 결과 대부분의 지점에서 오염에 의해 이상값이 만들어진 것으로 해석되었다. 오직 한 지점(27W-9)에서만 관찰된 이상값이 오염이 아닌 물-암석 반응에 의한 것으로 보이는데, 특히 이곳에서의 이상값은 Li 운모와 사장석의 용해 및 황화 광물이 산화에 기인하였을 가능성이 높다.

이번 연구결과를 보면, 하천수의 용존 성분 중 Li 광화대를 정확하게 지시하는 것은 존재하지 않았

다. 다만 잠재적 광화대의 존재가능성을 고려할 때, Mg이 Li과 높은 상관성을 보이며, 등농도선도 비슷한 경향성을 보여 Li 광체 탐사의 지시원소로 사용될 가능성이 있다. 연구 지역 내 하천들은 건천으로 존재하고 있는 곳이 많고, 접근이 불가능한 곳도 많아 용존 성분들에 대한 자료가 충분치는 않다. 이는 앞으로 하천수 자료가 더 모이면서 개선될 수 있을 것이다. 또한 차후 토양 지구화학 탐사가 병행되면 조금 더 신뢰도 높은 결과를 얻을 것이라고 기대된다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원의 ‘국내 희유금속 광화대 자원확보 및 활용기술 개발(2010T100200202)’ 과제의 일환으로 수행되었으며, 일부는 강원대학교 학술연구조성비(과제번호 84)에 의해 지원되었다. 시료 분석에 도움을 주신 기초과학지원연구원 윤혜은 박사님과 연구지역의 시료채취를 도와준 강원대학교 지질학과 지구화학실험실원들에게 감사함을 전한다. 또한 논문의 개선에 크게 도움을 주신 익명의 심사자께도 감사한다.

REFERENCES

Ahrens, L.H., 1954, The lognormal distribution of the ele-

- ments (A fundamental law of geochemistry and its subsidiary). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 5, 49-73.
- Appelo, C.A.J. and Postma, D., 1993, *Geochemistry. Groundwater and Polluti on Balkema*, 536.
- Chan, L.H., Edmond, J.M. and Thompson, G., 1993, A lithium isotope study of hot springs and metabasalts from mid-ocean ridge hydrothermal systems. *Journal of Geophysical Research*, 98, 9653-9659.
- Chon, H.T. and Son, C.I., 1995, Mineralogical Chemistry of Granitoids and Pegmatites in the Sangdong and the Ulchin Areas. *Economic and Environmental Geology*, 28, 33-41 (in Korean with English abstract).
- Gibbs, R.J., 1970, Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170, 1088-1090.
- Gruber, P.W., Medina, P.A., Keoleian, G.A., Kesler, S.E., Everson, M.P. and Wallington, T.J., 2011, Global Lithium Availability : A constraint for Electric Vehicles?. *Journal of Industrial Ecology*, 15, 760-775.
- Gummow, R.J., Liles, D.C. and Thackeray, M.M., 1993, Lithium extraction from orthorhombic lithium manganese oxide and the phase transformation to spinel. *Materials Research Bulletin*, 28, 1249-1256.
- Gupta, R. and Manthiram, A., 1996, Chemical Extraction of Lithium from Layered LiCoO₂. *Journal of Solid State Chemistry*, 121, 483-491.
- Hawkes, H. and Webb, J., 1962, *Geochemistry in mineral exploration* New York: Harper.
- Heier, N.S. and Billings, G.K., 1978, Lithium. In *Handbook of Geochemistry* (ed. K.H. Wedepohl). Springer, 3-G-13-H-1.
- Jaskula, B.W., 2012, Lithium. In *Mineral Commodity Summaries 2012* (ed. K. Salazar and M.K. McNutt). U.S. Geological Survey, Reston, VA. 94-95.
- Kesler, S.E., Gruber, P.W., Medina, P.A., Keoleian, G.A., Everson, M.P. and Wallington T.J., 2012, Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geology Review*, 48, 55-69.
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2010, Annual climatological report. 82-84.
- Koh, S.M., Lee, G.J. and Yu, B., 2010, Situation of domestic and foreign rare metal resources. Proceedings of the Annual joint conference, Petrological Society of Korea of Korean and Mineralogical Society of Korea, 84-86 (in Korean).
- Lasmanis, R., 1978, Lithium resources in the Yellowknife area, Northwest Territories, Canada. *Energy*, 3, 399-407.
- Loring, D.H., 1990, Lithium-a new approach for the granulometric normalization of trace metal data, *Marine Chemistry*, 29, 155-168.
- Moon, S.H. and Park, H.I., 1994, Alterations of Granite Gneiss and their Genetic Relationship to Tin Mineralization in the Uljin Area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 30, 125-139 (in Korean with English abstract).
- Mulligan, R., 1973, Lithium distribution in Canadian granitoid rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 10, 316-323.
- Razumovsky, N.K., 1940, Distribution of metal values in ore deposits. *Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS*. 9: 814-816.
- Reimann, C., Filzmoser, P. and Garrett, R.G., 2005, Background and threshold. *Science of The Total Environment*, 346, 1-16.
- Stempok, M. and Sulcek, Z., 1969, Geochemical profile through an ore-bearing lithium granite. *Economic Geology*, 64, 392-404.
- Stumm, W. and Morgan, J.J., 1981, *Aquatic Chemistry*. 2nd edition Wiley, 780.
- Takamura, T., Ohara, S., Uehara, M., Suzuki, M. and Sekine K., 2004, A vacuum deposited Si film having a Li extraction capacity over 2000 mAh/g with a long cycle life. *Journal of Power Sources*, 129, 96-100.
- Tennant, C.B. and White, M.L., 1959, Study of the distribution of some geochemical data. *Economic Geology*, 54, 1281-1290.
- Tischendorf, G., Frster H.-J. and Gottesman, B., 1999, The correlation between lithium and magnesium in trioctahedral micas: Improved equations for Li₂O estimation from MgO data. *Mineralogical Magazine*, 63, 57-74.
- Tischendorf, G., Gottesmann, B., Foerster, H. and Trumbull, R.M., 1997, On Li-bearing micas: estimating Li from electron microprobe analysis and an improved diagram for graphical representation. *Mineralogical Magazine*, 61, 809-834.
- Tukey, J.W., 1977, *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley, Ch. 3. Boxplot and Batch Comparison.
- Yu, J.Y., Choi, I.K. and Kim, H.S., 1994, Geochemical Characteristics of the Surface Water depending on the Bed Rock Types in the Chuncheon Area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 30, 307-324 (in Korean with English abstract).
- Yun, S.K. and Shin, B.W., 1963, Geological report of the Uljin sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 23 p (in Korean with English abstract).
- Wetzel, R.G. and Likens, G.E., 2000, *Limnological Analyses*. 3rd Edition, Springer-Verlag, 429.

투 고 일 : 2013년 11월 18일

심 사 일 : 2013년 11월 20일

심사완료일 : 2014년 1월 23일

Appendix I. Chemical compositions of the Li ore samples from the study area.**Table AI-1.** The major (wt.%) and trace (ppm) element compositions.

Sample	Ore 1	Ore 2	Ore 3	Ore 4
SiO ₂	51.96	51.20	50.55	50.35
Al ₂ O ₃	25.16	26.91	27.53	28.06
Fe ₂ O ₃	0.06	0.07	0.51	0.49
CaO	0.41	0.22	1.06	0.46
Na ₂ O	0.29	0.39	0.32	0.37
MgO	0.07	0.03	0.06	0.05
K ₂ O	10.31	10.04	10.53	10.43
P ₂ O ₅	0.44	0.06	0.06	0.08
TiO ₂	0.02	0.02	0.04	0.04
MnO	0.19	0.24	0.25	0.23
Li ₂ O	8.78	7.92	6.63	6.58
L.O.I. (%)	2.43	2.54	3.48	3.16
Total	97.68	97.09	97.54	97.13
Be	40.48	91.88	15.33	19.20
Ba	4.74	3.83	4.86	3.64
Cr	n.d.	9.67	n.d.	n.d.
Sr	7.55	6.04	4.05	4.50
Zn	43.53	126.30	200.40	181.30
Zr	7.20	4.63	15.99	25.05
Ni	41.38	3.96	1.07	n.d.
Ga	17.78	21.44	21.75	33.96
As	n.d.	89.00	16.67	13.19
Rb	n.d.	n.d.	299.43	n.d.
Nb	27.71	190.14	9.07	154.43
Pb	26.46	23.56	51.26	8.82
U	0.78	n.d.	n.d.	n.d.

Appendix II. Water quality parameters and chemical compositions of the water sample from the study area.**Table AII-1.** Water quality parameters measured in the field.

Sample	Temperature (°C)	pH	Eh (mV)	EC (μS/cm)
25W-1	18.1	6.32	226	118
25W-2	18.5	6.61	236	104.2
25W-3	19	6.49	263	93.1
26W-1	18.9	5.96	187	44.2
26W-2	19.1	5.57	207	36.5
26W-3	18.5	5.82	203	39.2
26W-4	18.7	6.03	202	42.6
26W-5	18.8	5.92	176	49.6
26W-6	18.6	6.22	214	105.6
26W-7	18.8	6.37	221	46.1
26W-8	19.1	6.13	236	52.2
26W-9	19	5.88	235	50.1

Appendix II. continued.

Table AII-1. continued.

Sample	Temperature (°C)	pH	Eh (mV)	EC (μS/cm)
26W-10	19	6.05	229	48.4
26W-11	19.4	5.97	236	45.2
26W-12	19.8	6.03	235	50.5
26W-13	19.8	6.18	232	51.9
26W-14	20.4	6.58	222	108.5
26W-15	20.4	6.39	229	65.4
27W-1	19.7	5.85	297	91.9
27W-2	19.2	6.24	288	87.6
27W-3	18.8	6.40	292	49.3
27W-4	18.6	6.11	301	38.1
27W-5	18.4	5.82	305	49.6
27W-6	18.2	6.13	289	49.4
27W-7	18.8	6.16	280	49.9
27W-8	17.8	6.07	318	71.5
27W-9	17.9	7.08	198	180.4
27W-10	18.6	6.86	211	
27W-11	18.8	7.15	177	
27W-12	18.9	7.11	192	
27W-13	19.5	6.6	219	
27W-14	18.5	6.93	214	
27W-15	19.4	7.16	206	
27W-16	19.3	7.03	201	
27W-17	19	6.85	209	
27W-18	18.7	7.06	207	
28W-1	19.4	6.69	207	
28W-2	19	6.80	208	
28W-3	18.8	6.39	221	
28W-4	18.6	6.67	204	
28W-5	18.4	6.91	203	
28W-6	18.9	6.68	215	
28W-7	18.6	6.96	203	
28W-8	18.5	6.16	216	
28W-9	18.8	5.99	222	
28W-10	18.8	6.78	207	
28W-11	19.9	6.62	216	
28W-12	18.7	6.11	221	
28W-13	19.4	6.59	210	
28W-14	19.4	6.95	203	
Range	2.60	1.59	142	
Average	18.9	6.43	226	
Standard deviation	0.55	0.43	34.5	

Appendix II. continued.

Table AII-2. Major dissolved component concentrations (mg/L).

Sample	Ca	Mg	Na	K	H ₄ SiO ₄	F	Cl	NO ₂	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
25W-1	8.40	5.60	3.45	1.74	25.5	0.11	3.14	0.16	10.6	31.9	5.53
25W-2	11.6	1.93	2.89	1.40	11.9	0.19	4.12	0.13	34.9	10.3	4.26
25W-3	9.95	1.92	3.13	1.56	13.1	0.20	4.13	0.62	11.6	10.8	6.71
26W-1	2.25	1.03	3.75	1.31	17.6	0.04	2.52	0.43	3.90	3.17	6.59
26W-2	1.76	0.57	2.62	0.82	11.9	0.02	4.82	0.12	7.57	3.10	
26W-3	2.40	0.75	3.44	0.84	16.1	0.02	3.65	0.13	18.7	2.42	4.77
26W-4	2.31	0.81	3.39	0.87	16.0	0.03	2.60	0.36	3.72	2.77	1.66
26W-5	2.49	1.05	3.44	1.11	17.2	0.04	3.19	0.13	13.3	3.30	6.05
26W-6	9.40	3.83	3.07	0.80	13.5	0.06	6.05	0.96	2.17	10.5	7.65
26W-7	2.63	1.07	3.33	0.89	16.4	0.05	9.83	0.18	2.03	3.52	3.20
26W-8	2.92	1.41	3.72	1.01	19.2	0.05	3.21	0.58	1.18	4.04	7.21
26W-9	2.82	1.21	3.39	0.83	17.0	0.05	7.17	0.32	2.40	3.80	7.01
26W-10	2.69	1.28	3.62	0.89	18.3	0.05	3.62	0.24	10.9	4.43	6.36
26W-11	1.83	1.01	4.05	0.84	19.2	0.05	3.60	0.31	5.71	4.00	7.00
26W-12	3.26	1.71	4.23	0.87	22.8	0.05	3.45	0.21	12.2	4.26	7.30
26W-13	3.39	1.76	3.95	0.74	21.6	0.05	4.93	0.11	17.9	4.40	6.30
26W-14	14.0	3.24	3.26	1.08	16.8	0.22	3.22	0.72	12.4	15.8	7.34
26W-15	5.87	2.24	3.65	0.78	19.8	0.09	2.98	0.56	7.36	7.42	7.95
27W-1	4.57	3.71	4.66	2.01	28.6	0.05	5.12	0.14	19.9	19.9	
27W-2	9.81	2.58	3.16	0.96	16.5	0.20	3.17	0.42	14.7	10.2	6.56
27W-3	4.57	1.19	2.95	0.54	14.7	0.61	4.71	0.24	2.05	5.41	5.96
27W-4	4.41	1.09	2.82	0.49	14.0	0.54	4.48	0.21	1.99	5.52	4.66
27W-5	4.41	1.09	2.83	0.55	14.2	0.52	10.9	0.13	2.33	5.21	
27W-6	4.80	1.12	2.83	0.66	13.9	0.52	6.87	0.14	2.26	4.98	5.19
27W-7	4.79	1.10	2.83	0.54	13.9	0.53	4.13	0.28	2.17	5.28	7.92
27W-8	6.00	2.56	4.27	0.90	18.9	0.09	8.10	0.59		6.46	7.11
27W-9	21.0	6.72	4.13	1.37	20.6	0.19	2.72	1.05	1.51	39.1	6.77
27W-10	6.53	4.96	4.09	1.62	22.1	0.10	4.29	0.26	9.46	22.1	6.85
27W-11	38.7	4.10	3.19	2.06	9.1	0.23	2.33	2.31	9.41	6.40	7.21
27W-12	9.98	2.65	3.15	0.85	16.6	0.20	2.17	0.80	3.13	10.6	7.92
27W-13	9.74	2.11	2.95	0.86	14.9	0.19	2.62	0.84	1.91	6.84	7.76
27W-14	9.57	2.10	2.92	0.76	15.1	0.20	3.26	0.50	13.6	6.63	7.50
27W-15	22.5	5.88	3.51	1.52	20.6	0.17	2.68	1.21	4.92	29.8	7.56
27W-16	9.09	1.89	2.97	0.87	15.1	0.21	2.84	0.79	2.06	5.61	6.11
27W-17	4.41	1.72	4.38	0.62	21.0	0.05	12.1	0.23	0.89	4.04	9.38
27W-18	9.28	1.88	2.89	0.68	14.7	0.21	11.6	0.42	2.45	5.37	6.63
28W-1	4.64	1.40	3.89	0.98	19.2	0.04	3.34	0.55	1.86	3.24	6.30
28W-2	9.71	1.95	2.86	0.69	14.4	0.23	3.72	0.57	9.98	5.43	6.47
28W-3	11.1	2.04	2.70	0.84	14.0	0.28	6.05	0.61	3.66	5.85	2.40
28W-4	4.63	1.67	3.49	0.92	16.7	0.06	2.54	0.59	1.48	3.79	7.41
28W-5	10.8	1.99	2.70	0.91	14.3	0.26	6.41	0.70	2.45	5.58	7.84
28W-6	4.41	2.19	4.15	0.78	17.6	0.05	3.97	0.52	1.48	7.24	7.50

Appendix II. continued.

Table AII-2. continued.

Sample	Ca	Mg	Na	K	H ₄ SiO ₄	F	Cl	NO ₂	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
28W-7	10.8	1.96	2.71	0.90	14.0	0.27	7.70	0.70	2.23	5.62	8.38
28W-8	1.50	0.77	3.35	0.42	16.7	0.04	2.68	0.30	2.28	2.34	7.36
28W-9	1.57	0.60	3.65	0.53	18.8	0.04	8.28	0.14	1.44	2.07	3.90
28W-10	11.2	2.02	2.74	0.76	13.9	0.27	6.19	0.75	2.44	5.69	7.39
28W-11	10.2	3.64	3.92	1.22	19.1	0.32	2.84	0.72	3.59	16.3	0.99
28W-12	2.33	1.43	3.17	0.72	17.2	0.11	2.62	0.16	10.2	6.89	
28W-13	11.8	2.07	2.67	0.79	14.0	0.29	2.84	0.91	2.44	5.74	6.65
28W-14	11.3	1.89	2.60	0.87	13.8	0.29	4.45	0.83	3.56	4.68	7.57
Range	37.2	6.15	2.06	1.64	19.5	0.59	9.93	2.20	34.0	37.0	8.39
Average	7.60	2.13	3.35	0.95	16.8	0.17	4.68	0.50	6.58	8.20	6.39
Standard deviation	6.48	1.38	0.54	0.37	3.58	0.15	2.49	0.39	6.66	7.80	1.73

Appendix II. continued.

Table AII-3. The concentrations (ppb) of the dissolved trace elements.

Sample	Li	Ni	Rb
25W-1	12.48	11.83	4.01
25W-2	2.55	0.71	2.72
25W-3	2.99	0.96	2.90
26W-1	1.92	0.32	0.96
26W-2	0.49	0.55	0.85
26W-3	1.71	0.39	0.74
26W-4	1.56	0.35	0.72
26W-5	2.02	0.44	0.73
26W-6	2.49	0.52	0.95
26W-7	1.75	0.30	0.76
26W-8	3.24	0.23	0.71
26W-9	2.33	0.26	0.68
26W-10	2.43	0.28	0.54
26W-11	1.35	0.32	1.00
26W-12	2.04	0.28	0.75
26W-13	2.16	0.41	0.73
26W-14	4.55	0.98	4.76
26W-15	2.80	0.46	1.84
27W-1	7.97	3.03	10.23
27W-2	4.35	2.12	3.55
27W-3	2.49	0.54	3.02
27W-4	1.99	0.32	3.08
27W-5	2.01	0.36	3.08
27W-6	1.77	0.35	3.08
27W-7	1.77	0.34	3.02
27W-8	4.39	0.62	2.46
27W-9	27.98	3.31	3.52

Appendix II. continued.
Table AII-3. continued.

Sample	Li	Ni	Rb
27W-10	12.28	2.47	6.01
27W-11	2.02	1.04	4.81
27W-12	4.35	2.43	2.97
27W-13	2.14	0.65	2.37
27W-14	2.07	0.56	2.20
27W-15	13.5	0.94	3.46
27W-16	1.72	0.42	4.16
27W-17	1.43	0.35	1.92
27W-18	1.73	0.45	2.26
28W-1	0.93	0.35	1.48
28W-2	1.81	0.50	2.17
28W-3	1.89	0.53	2.44
28W-4	1.03	0.29	1.73
28W-5	1.92	0.47	2.31
28W-6	2.33	0.65	1.87
28W-7	2.03	0.51	2.42
28W-8	0.82	0.27	1.11
28W-9	0.37	0.25	1.22
28W-10	2.08	0.52	2.39
28W-11	5.73	2.08	2.55
28W-12	2.76	0.52	2.08
28W-13	2.18	0.62	2.58
28W-14	1.87	0.48	2.47
Range	27.6	11.6	9.69
Average	3.49	0.96	2.41
Standard deviation	4.51	1.73	1.68