

## 국내 지구화학도 작성기술의 진화

신성천<sup>‡</sup> · 엄승준 · 이평구 · 안주성 · 이진수

한국지질자원연구원 지구환경연구본부

### 요 약

1980년대 이후 대표적 지구화학도 사례들, 예컨대 태백산광화대 일대 1:5만 도폭단위 지구화학도, 1:25만 도폭단위 저밀도 지구화학도, 전국 8개 도별 지구화학지도책, 희유원소 광역 지구화학도 등을 중심으로 지구화학도 작성기술에 관해 고찰하였다. 특히 데이터 구조 파악, 함량등급 구분(임의등급/백분위수/박스플롯 등), 전산 처리와 지도 제작, 각종 통계값의 정의와 설정(아웃라이어/문턱값/이상치; 평균값/배경치/기준치), 아웃라이어 탐지 등 기술 진화에 대해 자세하게 고찰하였다. 수작업 흑색 점지도, 컬러 등고선/표면/블록/심볼지도, 탐사자료분석 심볼지도 등 지도 유형별 기술의 장단점에 관해 진단하였다. 끝으로 전국 지구화학 데이터베이스 설계 등 지구화학도 작성관련 당면과제와 대응 방안을 제시하였다.

**주요어:** 한국, 지구화학탐사, 지구화학도, 지구화학도 작성, 지구화학지도책

**Seong-Cheon Shin, Seung-Jun Youm, Pyeong-Koo Lee, Joo-Sung Ahn and Jin-Soo Lee, 2014, Technical evolution of geochemical mapping in Korea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 5, p. 565-591**

**ABSTRACT:** This paper discusses geochemical (GC) mapping techniques based on selected representative cases of GC maps since 1980s, e.g., GC maps surveyed by sheet-units of 1:50,000 scale covering the Taebaeksan Mineralized Belt and its neighboring areas, wide-spaced GC maps by sheet-units of 1:250,000 scale, nation-scale GC atlases for eight provinces, and regional GC maps for rare elements. Detailed discussions are given to understanding of data structures, class selection (e.g., arbitrary, percentile, boxplot), data processing and map production, definition and establishment of statistical estimates (e.g., outlier/threshold/anomaly; mean/background/baseline), and outlier detection. Advantages and problems in technical viewpoints are diagnosed from various types of GC maps, e.g., black-and-white growing dot maps, color contour/surface/block/symbol maps and Exploratory Data Analysis (EDA) symbol maps. The paper closes with some suggestions for current problems and practical responses related to GC mapping including a national GC database.

**Key words:** Korea, geochemical prospecting, geochemical map, geochemical mapping, geochemical atlas

(Seong-Cheon Shin, Seung-Jun Youm, Pyeong-Koo Lee, Joo-Sung Ahn and Jin-Soo Lee, Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Republic of Korea)

### 1. 서 언

지구화학탐사(geochemical prospecting)란 지질 물질 내의 화학성분을 정량적으로 결정하여 개별원소의 분포를 규제하는 법칙을 찾아내고, 원소 존재량에 기반하여 유용자원과 환경오염 등에 관한 정보를 알아내는 행위를 가리킨다. 지구화학탐사결과는 유용 광물자원 탐색과 환경오염원 추적 외에도, 사

람과 동식물의 생명을 지속가능케 하는 지표환경의 보호, 농업과 축산의 효율 개선, 그리고 먹이사슬 내에서의 원소들이 사람과 생물군에 미치는 영향에 관한 연구 등에 널리 이용된다. 따라서 지표환경에 분포하는 원소들의 공간적 분포를 이해하는 것은 매우 중요하다. 지구화학탐사결과를 이해하기 쉽게 도면 형태의 지구화학도(geochemical map)로 표현하는 기법은 날이 갈수록 진화를 거듭해왔다.

<sup>‡</sup> Corresponding author: +82-42-868-3165, E-mail: scshin@kigam.re.kr

이 논문에서는 1963년 이래 약 50년 간 국내에서 실시돼왔던 지구화학탐사 프로젝트들을 중심으로, 탐사결과 표현수단인 지구화학도의 기술적 진화에 대해 자세히 진단하였다. 지구화학탐사는 초기에는 태백산광화대에 대한 자원탐사에 주력하였으며, 1990년대부터는 자원탐사와 함께 환경오염평가를 병행하는 쪽으로 바뀌었다(표 1 참조). 유엔교육과학문화기구(UNESCO)와 국제지질과학연합(IUGS) 공동으로 국제지질대비계획(IGCP)의 일환으로 수행된 IGCP-259 '국제 지구화학도 작성(International Geochemical Mapping)' 프로젝트에서 세계적으로 일관된 지구화학도 작성에 필요한 권장안(UNESCO 보고서; Darnley *et al.*, 1995)이 제시된 것을 계기로 하여, 우리나라에서도 전국토를 대상으로 지구화학도 작성과 지구화학기준치(geochemical baseline) 설정을 목표로 한 프로젝트가 출범하였다. 안정적인 예산지원에 힘입어, 단기간(1996.11. - 2003.3.) 내에 전국에 걸친 탐사가 성공적으로 완료되었다. 탐사결과는 다양한 관련정보와 함께 지구화학지도책(geochemical atlas) 형태로 발간되었다(Shin *et al.*, 2001a,b,c,d,e, 2007a,b,c; Lee *et al.*, 2007). 지도책에는 주요 원소별 함량 분포도, 하천수의 pH와 전기전도도 분포도, 새로운 광상과 광화대 정보, 지질별 원소분포범위와 배경치(background), 원소별 과다농집 또는 이상결핍의 출처와 영향분석, 지질과 광상분포, 폐광산 중금속 오염실태와 관리대책, 인위오염정보, 분석방법, 지구화학도 작성기술 등 다양한 정보가 수록되었다. 이렇게 전국을 대상으로 한 지구화학도가 단기간 내에 완성된 것은 50년 국내 지구화학탐사 역사를 통해 가장 획기적인 사건으로 기록된다.

지구화학도 작성기술은 초기에는 수작업 표현방법에 주로 의존하였으나, 1983년부터 전산처리로 제작된 지구화학도(Jin *et al.*, 1983; Lee *et al.*, 1983)가 출현한 이후부터는 형식과 기술면에서 다양하게 진화하였다(표 2). 1990년대까지 대부분 지구화학도는 함량등급을 임의로 구분함으로써, 데이터 구조파악이나 아웃라이어(outlier; 뒤의 3.2.5와 3.5 참조) 도출, 배후 지구화학 작용의 해석에 취약했다. 2000년대 들어와 전국 지구화학도 작성 프로젝트에서 처음 출현한 백분위수(percentile) 등급구분에 의한 컬러표면지도(Shin *et al.*, 2000a)는 국내 지구화학도 발전의 전환을 가져왔다. 최근 희유원소탐사(Youm *et*

*al.*, 2013)에서는 탐사데이터분석(EDA; Velleman and Hoaglin, 1981)에 막강한 그래픽으로 알려진 박스플롯(boxplot, Tukey, 1977) 등급구분에 의한 심볼로 작성된 지구화학도가 처음 등장하였다. 과거 지구화학도들이 단순히 원소함량의 높고 낮음을 표현하는 데에 주력하였다면, 최근에는 함량분포를 통해 배후의 지질/지구화학 작용들을 이해하고 지구화학 아웃라이어들의 소재 파악과 원인 규명(예: 광상부존, 환경오염)에 유용한 정보를 제공할 수 있는 방향으로 진화되고 있다(예: BGS, 1996; Reimann *et al.*, 1998; Salminen *et al.*, 2004, 2005; De Vos *et al.*, 2006).

이 논문에서는 1980년대부터 국내 지구화학도 작성과정에 내포되었거나 내포될 수밖에 없었던 적지 않은 문제점과 취약점들을 자세히 진단하고 그 기술적 장단점을 비교 분석한다. 특히 지구화학도 작성에서 함량등급 선택방법과 기술적 장단점 분석; 전산처리와 지도제작기술; 아웃라이어/문턱값/이상치, 평균값/배경치/기준치의 정의와 설정; 아웃라이어 탐지방법 등 기술적인 측면에서 자세하게 고찰한다. 이와 같이 약 30년에 걸친 국내 지구화학도의 기술적 진화에 관해 자세하게 진단한 이유는 적어도 앞으로는 과거의 시행착오가 반복되지 않기를 바램에서이다. 끝부분에는 과거 오랜 기간에 걸쳐 취득된 기존 지구화학 데이터의 취약점과 유용성 검토; 미조사지역(제주도)의 지구화학도 완성; 전국 지구화학 데이터베이스 설계에 대비한 표준양식 제안; 지구화학도 작성관련 국제동향분석을 통한 향후 대응방안 등에 관해 제안한다.

## 2. 지구화학탐사의 변천

### 2.1 탐사목적과 유형의 변천

초기 탐사(1963-1975)는 전국에 걸친 개략답사(표 1의 P1)와 기존광산 주변의 국지적인 조사(P2)로 이원화되었다. 1976년에 재단법인 자원개발연구소 출범 이후에는 제대로 프로젝트 형태를 갖추어 광물자원 정밀탐사(P3)와 백악기 퇴적분지의 석유부존가능성 타진(P4)에 주력하였다. 옥천층군의 흑색 슬레이트와 전국 각지에서 우라늄 산출과 이상대가 보고된 이후, 1980년부터는 전국에 걸친 광역 및 준정밀 지구화학탐사(P5)가 실시되었다. 중생대 화강암에

**Table 1.** A history of fifty years of geochemical prospectings in Korea.

Project	Phase <sup>1</sup>	Coverage <sup>2</sup>	Target	Sample media <sup>3</sup>	References
P1. Earlier reconnaissance mineral survey (1964-1975)	R*	~23,000km <sup>2</sup> (unspecified wide areas)	<5 metals	L, H	Seo <i>et al.</i> , 1970; Kim, S.-Y. <i>et al.</i> , 1971; Heo <i>et al.</i> , 1970, 1971, 1972; On <i>et al.</i> , 1972; Heo and Lee, 1973; Kim, M.-S., 1975; Kim, Y.-K., 1977
P2. Earlier local surveys around previous mineral occurrences (1963-1976)	D	~1,572km <sup>2</sup> (Taebaeksan, Hwanggangri & Gyeongnam mineralized belts)	<5 metals	L, H	Park, E.-Y. <i>et al.</i> , 1971a,b; Park, J.-K. <i>et al.</i> , 1972; Lee, J.-Y. <i>et al.</i> , 1972; Reedman <i>et al.</i> , 1973; Jin, 1974; Lee, W.-T., 1974; Lee and Kim, 1974; Yun and Yun, 1975; Kim, S.-Y. <i>et al.</i> , 1977
P3. Local follow-up surveys for regional anomalies (1977-1980)	D	6 metal mines	<5 metals	S	Kim, S.-Y. <i>et al.</i> , 1979, 1982; Park, N.-Y. <i>et al.</i> , 1980; Lee, J.-S. <i>et al.</i> , 1980, 1981; Jin <i>et al.</i> , 1981
P4. Evaluations for petroleum source-rock potentials (1976-1980)	R	Gyeongsang Basin (~2,600km <sup>2</sup> ); Haenam-Mokpo area (~250km <sup>2</sup> )	Kerogen, Bitumen, Organic Carbon, Hydrocarbon etc	R (mudrocks); GW	Kim, S.-Y. <i>et al.</i> , 1978; Choi <i>et al.</i> , 1980, 1982; Son <i>et al.</i> , 1980; Um <i>et al.</i> , 1983
P5. Regional and local uranium prospectings (1980-1985)	R, S-D	Regional (~3,000km <sup>2</sup> : 6 areas) Local (~200km <sup>2</sup> : car-/air-borne anomalies, U-occurrences etc)	U, K-U-Th $\gamma$ -ray	L, W, S, Ore minerals	Kim, M.-Y. <i>et al.</i> , 1982a,b, 1983a,b; Kim, T.-K. <i>et al.</i> , 1983a,b; Shin <i>et al.</i> , 1983a,b; Kim, S.-Y. <i>et al.</i> , 1984; Jin <i>et al.</i> , 1985; Seo <i>et al.</i> , 1986
P6. Evaluation for geothermal potentials of granites (1989-1991)	R	~300km <sup>2</sup> (Cretaceous & Jurassic granitoids)	U, K, Th; Heat Production Rate	R (granites)	Jin <i>et al.</i> , 1990, 1991, 1992
P7. GC mapping for Taebaeksan Mineralized Belt (TMB) and neighboring areas (1981-1997)	R	~12,900km <sup>2</sup> (~12* & ~14** sheets)	20-30 metals & nonmetals	L, H, (W)	Jin <i>et al.</i> , 1983, 1995; Lee, J.-S. <i>et al.</i> , 1983, 1984, 1995, 1997; Kim, S.-Y. <i>et al.</i> , 1985a,b, 1986, Hong and Moon, 1989, 1991; Seo <i>et al.</i> , 1990, 1991, 1992, 1994; Seo and Lee, 1993; Lee and Seo, 1997
P8. Regional mineral prospectings (1986-1988)	R	~800km <sup>2</sup> (2 Au-Ag districts)	U, Au-Ag & <5 metals	L	Seo and Kim, 1987, 1988, 1989
P9. Local follow-up surveys (1986-1990)	D	7 mineralized areas (in TMB & Gyeongnam Mineralized Belt)	5-6 metals	H, S	Kim, S.-Y. <i>et al.</i> , 1986, 1988a,b; Moon <i>et al.</i> , 1989a,b; Moon and Hong, 1990, 1991
P10. Compilation of GC maps for Gangneung Sheet (1:250,000 scale) (1998)	R	~15,800km <sup>2</sup> (based on GC data obtained in 1981-1998)	25-30 metals & nonmetals	W; (L)	Lee, J.-S. <i>et al.</i> , 1998
P11. Wide-spaced hydrogeochemical mapping (1999-2003)	R	~60,000km <sup>2</sup> (5½ sheets of 1:250,000 scale)	27 metals & nonmetals	W	Lee, J.-S. <i>et al.</i> , 2001, 2002, 2003
P12. Investigation of actual conditions around abandoned metal mines (1996-2005)	R, S-D	217 mines (1996-2003); 225 mines (2003-2005); 272 mines (2005)	7-9 heavy metals; (Cyan)	S, W, Tailing, R; (GW, Mine drain)	Shin <i>et al.</i> , 2000a,b, 2001a,b,c,d,e, 2003, 2007a,b,c; Lee, P.-K. <i>et al.</i> , 2004, 2005, 2006; Park, S.-W. <i>et al.</i> , 2005
P13. Nationwide GC baseline mapping (1996-2003)	R	~96,940km <sup>2</sup> (8 provinces including 7 metropolitan cities)	36 metals & nonmetals	L*	Shin <i>et al.</i> , 2000a, 2001a,b,c,d,e, 2003, 2007a,b,c; Lee, P.-K. <i>et al.</i> , 2007
P14. Local prospectings for REEs & rare metals (2010-2012)	R, S-D, D	~450km <sup>2</sup> (Hongcheon, Chungju & other potential areas)	15 REEs; 14 metals & nonmetals	L, H, S, R	Youm <i>et al.</i> , 2010, 2011, 2012
P15. Regional prospectings for rare metals in Gangneung Sheet (1:250,000 scale) (2013-2015)	R	~4,800m <sup>2</sup> covering TMB in 2013; remaining ~9,200Km <sup>2</sup> in 2014-2015	16 metals	L*	Youm <i>et al.</i> , 2013

<sup>1</sup> Phase of survey: R\*=Reconnaissance, R=Regional, S-D=Semi-detailed, D=Detailed; <sup>2</sup> 1:50,000 scale topographic map: \*old edition=~-415km<sup>2</sup>/sheet; \*\*new edition=~-610km<sup>2</sup>/sheet;<sup>3</sup> Sample media: L=Stream sediments (Light minerals); L=-80 mesh, -177  $\mu$ m; L\*=-100 mesh, -150  $\mu$ m); H=Pan concentrates (Heavy minerals); W=Stream water; GW=Groundwater; S=Soil; R=Rock

대해 방사능탐사에 기반한 지열생산성 평가(P6)도 수행되었다.

1981년부터는 1:5만 도폭단위로 지구화학도를 작성하는 방식으로 본격적인 광물자원탐사가 착수되었다. 첫 단계(1981-1988)는 태백산광화대 중심부 7개 도폭에 대해 주요 전략광물자원 탐색에 초점을 맞추었다. 후속 단계(1989-1997)는 광화대의 북쪽과 서쪽으로 확대시켜 자원탐사 외에 환경오염파악도 병행하는 쪽으로 바뀌었다. 1990년대 후반부터는 기존 광산들이 자원 부존 측면에서가 아니라 오염원으로서 규제의 대상으로 바뀌게 되면서, 전국에 걸쳐 폐광산 실태조사(P12)가 이어졌다.

국제 지구화학도 작성의 권장안(Darnley *et al.*, 1995)에 기반한 전국 지구화학도 작성 프로젝트(P13; 1996.11. - 2003.3.)는 국토 서반부(5개 도)와 동반부(3개 도)를 2단계로 나누어 새로운 자원의 탐색, 기존 자원(폐광산)의 관리, 그리고 인위/이차오염의 파악과 평가 등 다목적에 부합하도록 설계되었다.

탐사단계(phase; 정밀도 수준)는 예비정찰탐사(표 1에서 R\*), 광역탐사(R), 준정밀탐사(S-D), 정밀탐사(D)를 단계별로 실시하거나 각기 독립적으로 적용하였다(표 1). 우리나라는 하천수계 패턴이 비교적 고른 간격(밀도)으로 잘 발달되고 접근 도로망이 매우 편리하여 하천수계시료를 이용한 광역탐사에 매우 유리하다. 태백산광화대 일대의 1:5만 도폭단위 광물자원탐사(P7); 1:25만 도폭 5½ 매에 해당하는 광역권역에 대한 개략적인 자원탐색과 환경오염파악을 위한 탐사(P11); 전국 8개 도의 지구화학도 작성을 위한 탐사(P13); 최근 1:25만 강릉도폭의 희유금속탐사(P15) 등은 모두 광역탐사단계로 접근하였다. 특히 2000년대 이후 국제자원시장의 불안한 움직임에 대비하여 희토류원소 등 고부가가치 산업원료자원의 국내 부존실태파악을 위해 2010년부터 재개된 탐사(P14)는 하천퇴적물, 중사, 토양 등 다중-매체(multi-media)를 이용한 광역/준정밀/정밀탐사의 복합 형태였다.

지구화학도의 작성단위는 태백산광화대 일대에 대한 장기탐사(1981 - 1997)에서는 1:5만 지형도 단위로 계속되었다. 이 장기탐사의 결과를 1998년에 1:25만 강릉도폭 하나로 통합한 이후에는 1:25만 지형도 5½매에 해당하는 광역-규모 탐사(1999 - 2003)로 이어졌다. 전국 지구화학도 작성(1996 - 2003)에서는 도

(道) 단위(광역시 포함)의 지도책으로 제작되었다.

매년 수용가능한 조사면적은 프로젝트 성격, 예산규모, 인력과 장비운용 능력에 의해 규제될 수밖에 없다. 예를 들어, 1981년대 초부터 소규모 예산지원으로 수행된 태백산광화대와 그 주변지역(총 ~12,900 km<sup>2</sup>)에 대한 지구화학탐사(P7)는 매년 평균 ~700 km<sup>2</sup>의 속도로 만 17년이 소요되었다. 반면에, 전국 8개 도(~96,940 km<sup>2</sup>) 전역에 대한 지구화학도 작성(P13)은 매년 평균 ~16,000 km<sup>2</sup>의 속도로 6년 내에 완료되었다(표 1).

## 2.2 시료채취와 현장조사방법의 변천

지구화학탐사에서 대상시료 종류, 시료채취간격(밀도), 시료수, 분석성분수 등은 요구조건들과 이들을 충족시킬 수 있는 여건들(예: 예산규모, 인력구조, 분석인프라 등) 간의 적절한 합의 선상에서 결정되게 된다. 자원탐사 목적의 개략답사 또는 광역탐사 단계에서는 주로 하천수계시료(하천퇴적물/중사/하천수)가 대상이었으며, 광역이상대 확인추적에는 하천수계시료를 더 조밀한 간격으로 채취하거나 산사면/능선부 토양이 이용되었다. 기존광체 연장부 확인 또는 광역이상대 확인 정밀탐사에서는 격자상 토양 채취로 접근하였다. 광역탐사에서 관심을 끄는 결과가 도출되지 않거나, 취득코자 하는 정보의 수준이 광역단계 수준으로 충분한 경우에는 후속정밀탐사로 이어지지 않는다.

하천퇴적물(표사, 漂砂)은 하천수에 뜨거나 굴러서 운반되다가 바닥에 가라앉은 가벼운 입자들을 표준망 체(sieve)를 사용하여 흐르는 물속에서 체질하여 망을 빠져나온 입자들을 채집한다. 하천퇴적물 탐사에서 입자 굵기를 결정하는 것은 중요한 요소다. 초기탐사부터 1997년까지의 자원탐사 프로젝트(P1, 2, 5, 7, 8, 10)에서는 177 μm (80 메쉬) 이하(표 1, 2의 L)가 채집대상이었다. 그러나 1996년부터 자원탐색과 환경오염평가에 필요한 다목적 기준치 설정을 위한 전국 지구화학도 작성(P13)부터는 국제 지구화학도 작성(Darnley *et al.*, 1995)에서 권장한 150 μm (100 메쉬) 이하(표 1, 2의 L\*)를 택하였다.

하천바닥에 가라앉은 비중이 큰 중광물(중사, 重砂)은 흐르는 물에서 넓적한 콘 형태의 목재 팬(pan)을 사용하여 채집한다. 중사 채취는 과거 금속광화대탐사(P1, 2, 7, 9)에서 주로 이루어졌고, 최근 희토

**Table 2.** Selected examples of regional geochemical maps in Korea.

Example of GC map	Project <sup>1</sup>	Coverage (km <sup>2</sup> )	Target area <sup>2</sup>	Sample media <sup>3</sup>	Average sampling density (site/km <sup>2</sup> )	Elements & Compositions <sup>4</sup>	Method of analysis <sup>5</sup>	References
M1. Uranium distribution maps in part of TMB (1981-1982)	P5	830	Homyeong & Seobyeokri sheets* (1:50,000 scale)	L W	1 / 2-2.5 1 / 1.5-2	U	LIF	Kim, M.-Y. <i>et al.</i> , 1982b, 1983b
M2. GC maps for central TMB (1981-1988)	P7	2,900	7 sheets* of 1:50,000 scale (i.e., Homyeong, Seobyeokri, Okdong, Yemi, Jangseong, Gosari & Imgye sheets)	H	1 / 2.4	Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, U, W, Zn	Colorimetry, AAS, ICP-AES, XRF, LIF	Jin <i>et al.</i> , 1983; Lee, J.-S. <i>et al.</i> , 1983, 1984; Kim, S.-Y. <i>et al.</i> , 1985a,b, 1986; Hong and Moon, 1989
M3. GC maps for western & northern TMB (1989-1992)	P7	2,000	5 sheets* of 1:50,000 scale (i.e., Samcheok, Yeongchun, Yeongwol, Pyeongchang & Jeongseon sheets)	L (H) (W)	1 / 3.5 1 / 1.5 1 / 2	Ag, Al, As, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, U, W, Zn etc	ICP-AES, LIF	Hong and Moon, 1991; Seo <i>et al.</i> , 1990, 1991, 1992; Seo and Lee, 1993
M4. GC maps for neighboring areas of TMB (1993-1997)	P7	8,000	14 sheets** of 1:50,000 scale (i.e., Jukbyeon+Maewon, Jecheon, Anheung+Wonju+Eomjeong, Hongcheon+Cheongil+Naepyeong +Eoron, Hyeonri+Bongpyeong+Yeongok+Doam)	L W (H)	1 / 2-3.5 1 / 2-4 (1 / 5.7)	Ag, Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sc, Sr, Ti, V, W, Y, Zn, Cl <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , pH, EC, Eh, DO, TDS	ICP-AES, IC	Seo <i>et al.</i> , 1994; Jin <i>et al.</i> , 1995; Lee, J.-S. <i>et al.</i> , 1995, 1997; Lee and Seo, 1997
M5. GC maps for Gangneung Sheet (1:250,000) (1998)	P10	15,800	a compilation of previous GC data from 22 sheets and new data from 3 sheets** (L) of 1:50,000 scale	W (L)	1 / 4.4	As, Ba, CaO, Cd, Co, Cr, Cu, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, MnO, Mo, Ni, Pb, Sr, TiO <sub>2</sub> , V, W (sediments); IC Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Si, Sr, V, Zn, Cl <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , pH, EC (water)	ICP-AES, IC	Lee, J.-S. <i>et al.</i> , 1998
M6. Wide-spaced GC maps (1999-2003)	P11	60,000	5½ sheets of 1:250,000 scale (i.e., Busan, Andong, Gangneung, Seoul, Daejeon & northern Gwangju sheets)	W	1 / 6-9	Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Si, Sr, V, W, Zn, Cl <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , δ <sup>18</sup> O, pH, EC	ICP-AES, IC	Lee, J.-S. <i>et al.</i> , 2001, 2002, 2003
M7. GC maps for each province in the western half of the country (1996-1999)	P13	11,650 7,430 8,750 8,000 12,000 total: 47,830	Gyeonggi-do (+Seoul & Incheon); Chungcheongbuk-do; Chungcheongnam-do (+Daejeon); Jeollabuk-do; Jeollanam-do (+Gwangju) 5 provinces (+4 metropolitan cities)	L*	1 / 3.5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , As, Ba, Be, Bi, CaO, Cd, Ce, Co, Cr, XRF, Cs, Cu, Eu, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Hf, K <sub>2</sub> O, Li, MgO, MnO, Mo, Na <sub>2</sub> O, Nb, Ni, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Pb, Rb, Sb, Sc, SiO <sub>2</sub> , Sr, Th, TiO <sub>2</sub> , V, Yb, Zn, Zr, pH, EC; Cr-Ni-MgO, Co-Ni-MnO, MgO-Sr-CaO, Zn-Pb-Ba, Zn-Pb-Be etc (ternary image)	ICP-AES, NAA, IC	Shin <i>et al.</i> , 2000a, 2001a,b,c,d,e
M8. GC maps for each province in the eastern half of the country (2000-2003)	P13	12,330 199,10 16,870 total: 49,110	Gyeongsangnam-do (+Busan & Ulsan); Gyeongsangbuk-do (+Daegu); Gangwon-do 3 provinces (+3 metropolitan cities)	L*	1 / 3.5	ditto	ditto	Shin <i>et al.</i> , 2003, 2007a,b,c
M9. A compilation of nationwide GC maps (2007)	P13	96,940	a compilation for 8 provinces (+7 metropolitan cities)	L*	1 / 3.5	Ba, CaO, Co, Cr, Cu, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, Li, MgO, MnO, Ni, Pb, Rb, Sr, TiO <sub>2</sub> , V, Zn, Zr, pH, EC	ditto	Lee, P.-K. <i>et al.</i> , 2007
M10. GC maps of REEs & rare elements (2010-2012)	P14	450	local potential areas (e.g., Hongcheon, Chungju & Wondong areas)	L H S	1 / 0.5-1 1 / 1 1 / 0.003	La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y (=REEs), Ce+La, TREE; Ba, Mo, Nb, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr; CaO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> O, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ICP-MS, ICP-AES	Youm <i>et al.</i> , 2010, 2011, 2012
M11. GC maps of rare elements in Gangneung Sheet (1:250,000)	P15	4,800	9 sheets** of 1:50,000 scale (i.e., Pyeongchang, Yeongwol, Jeongseon, Yemi, Imgye, Taebaek, Samcheok, Jangseong, Maewon & Jukbyeon sheets)	L	1 / 3.4	As, Bi, Cd, Cu, Ga, Ge, In, Mo, Pb, Sb, Sn, Ta, Tl, U, W, Zn	HR-ICP-MS	Youm <i>et al.</i> , 2013

<sup>1</sup> Project number: see Table 1; <sup>2</sup> maps on scale of 1:50,000: \*old sheet=415km<sup>2</sup>/each sheet; \*\*new edition=610km<sup>2</sup>/each sheet; <sup>3</sup> Sample media: L=Stream sediments (Light minerals), L=177 μm (-80 mesh), L\*=150 μm (-100 mesh); H=Panned concentrates (Heavy minerals); W=Stream water; S=Soil; <sup>4</sup> Italicized: analyzed for map production but not included in report or atlas; REE=rare earth element; TREE=total REE; EC=Electic Conductivity; DO=Dissolved Oxygen; TDS=Total Dissolved Solids; <sup>5</sup> LIF=Laser-induced Fluorescence; AAS=Atomic Absorption Spectrometry; ICP-AES=Inductively-Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry; ICP-MS=ICP-Mass Spectrometry; HR-ICP-MS=High Resolution-ICP-MS; XRF=X-Ray Fluorescence; IC=Ion Chromatography; NAA=Neutron Activation Analysis

류탐사(P14)에서도 다루어졌다.

하천수시료는 물에 잘 반영되는 거동을 보이는 원소들의 탐사에 유용하다. 예를 들어, 우라늄탐사(P5)에서는 하천퇴적물과 함께 효율적으로 적용되었다. 또한 태백산광화대 자원탐사(P7, 10)에서는 하천퇴적물 또는 중사와 함께 이용되었고, 광역권역에 걸친 자원과 환경오염의 개략적인 파악을 위한 저밀도 지구화학도 작성(P11)에서 널리 이용되었다.

다중-매체를 함께 채취하는 접근방식은 정보 다양성에 기반하여 탐사결과 해석에 훨씬 유리하다. 그러나 조사면적이 매우 넓은 경우(예: 전국-규모)에는 시료매체 종류와 시료수가 늘어나 사업기간이 길어지게 되어 한정된 예산으로 수용이 어렵거나 오랜 기간에 걸친 분석으로 인해 데이터 품질관리 측면에서 불리해질 수 있다. 예컨대, 전국 지구화학도 작성(1996 - 2003; P13)은 이러한 우려를 원천적으로 배제하기 위해 단일-매체(하천퇴적물)만으로 접근함으로써 단기간 내 완수가 가능하였다.

야외정보 수집방식은 프로젝트별 목적과 탐사방식에 따라 다양하다. 초기에는 일정한 양식도 없었고 전산화 또한 이루어지지 않았다. 야외정보를 양식에 따라 수집하기 시작한 것은 하천수계를 이용한 우라늄 광역탐사(P5)부터이다. 이때 수집정보의 항목은 지금과 유사하나, 전산화되지 않은 채 자료해석 시에만 이용되었다. 전국 지구화학도 작성 프로젝트(P13)부터는 인쇄된 야외노트 양식(그림 1)에 따라 상세한 항목에 대해 기록하였다. 2010년부터 재개정 자원탐사(P14, 15)에서도 유사한 양식이 적용되고 있다.

2.3 시료분석과 품질관리방법의 변천

신뢰도 높은 지구화학도 작성을 위해서는 품질 좋은 분석 데이터의 취득이 전제된다. 분석방법은 오랜 기간에 걸쳐 매우 큰 폭의 변화를 보여왔다(표 2). 초기탐사부터 1990년대까지 적용돼온 분석법은 고전적 방식의 비색법부터, 원자흡광분석(AAS), 엑스선형광분석(XRF), 유도결합플라즈마-원자방출분광분석(ICP-AES), 레이저-유도형광분석(LIF), 이온 크로마토그래피(IC), 가스크로마토그래피-질량분광분석(GC-MS), 중성자방사화분석(NAA), 유도결합플라즈마-질량분석(ICP-MS) 등 다양하다. 전국 지구화학도 작성(1996 - 2003)에서는 하천퇴적물의 주성분 분석에는 XRF, 미량원소 분석에는 ICP-AES와 NAA법이 적용되었다. 1990년대 전반기까지의 분석기술은 개별시료의 함량측정에 주력한 일회성 분석의 성격이 강했던 반면, 1990년대 후반부터는 데이터 품질관리가 비중 있게 다루어졌다.

전국-규모의 지구화학도 작성에서처럼 연차별로 분석이 계속 진행되는 경우에는 시료채취부터 분석 종료시점까지 전 과정에 걸쳐 체계적인 모니터링을 통하여 최선의 품질관리에 노력을 기울여야 한다. 일정 간격의 분석 묶음마다 중복시료, 복제시료, 공인 표준참고물질을 이용한 철저한 모니터링이 필요하다. 대조군 시료(control samples)를 이용한 비교 분석, 무작위로 선정한 시료에 대한 중복분석에 의한 체계적인 관리도 중요하다. 대조시료 분석을 통해 시료채취 시차 간에 생길 수 있는 분석결과 수 준 맞추기(levelling)에 유의해야 한다. 대조시료의 수는 실험실마다 다를 수 있으나, 적어도 5% 이상이 되도록 하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 영국

(A1)지형도명 (1:5만)	(A2)시료번호	(A3)조사일자	년 월 일
(A4) 조사자 (소속/성명)	(A5)날짜		
① 맑음/흐림 ② 비 ③ 비운 뒤 개일			
(B1) 집수부지내 지질단위	① 종류	② 지질단위 명칭 (암체/퇴적층/층군 등)	③ 지질기호 ④ 면적비(%)
(1/5만 지질도 발매 기준)	1		
	2		
	3		
(B2) 시료 Site 현장 지질 (별표암질순 ○ △ ▽ 표시)	① 변성암류 : 11편암 12편암 13편암+편암복합체 14슬레이트/천대암 15원리블라이트 16기타 변성암 ② 퇴적암류 : 21편암 22사암 23이질암(실트스톤, 이암, 셰일) 24매암+사암+이질암 호층 25 퇴적암류 호층 26기타퇴적암 ③ 심상암류 : 31화강암류(화강암/관각암/관각암+심상암/관각암/관각암 등) 32관각암(석영관각암/규암) 33편리암 34사질암 35기타심상암 ④ 화산암류 : 41산성화산암(유문암/대시이트) 42중성화산암(조반암/안산암/조반안산암) 43염기성화산암(현무암) 44각력암 45 테라리움화암/용화암 46회절퇴적암 47기타 화산암 ⑤ 총칙층 ⑥ 매립지(순반토)		
(B3) 풍화정도	① 신선 ② 약간 ③ 보통 ④ 심함	(B4)변질정도	① 무 ② 약간 ③ 보통 ④ 심함
(C1) 하천수 암 기	① 맑음 ② 탁해로 맑음 ③ 약간 혼탁 ④ 매우 혼탁	(C2) 계 방	① 앞면 ② 잔물 ③ 총적도 ④ 눈/밭 ⑤ 잔류토 ⑥ 테일러스 ⑦ 인공구조물
(C3) 하폭(m)	① 1-2 ② 2-5 ③ 5-10 ④ >10	(C4)수심(cm)	① 0 ② <20 ③ 20-50 ④ >50
(C5) 유 속	① 정체 ② 느림 ③ 보통 ④ 빠름	(C6)류 Level	① 건조 ② 낮음 ③ 정상 ④ 높음
(D1) 퇴적물 구성	① 자갈+조립사 ② 조립사+세립사 ③ 세립사+실트 ④ 실트+점토	(D2)색상 색안	① 황갈-갈갈 ② 치색-적갈 ③ 담회-백회 ④ 담회-암회 ⑤ 암회-흑회
(D3)시밀 방법	① Wet시밀 ② Dry시밀 ③ 실내시밀	(D4)채취 지점 (상류로 향해)	① 중앙 ② 좌 ③ 우
(D5)채취 구간	① 10m ② 30m ③ 50m ④ >50m	(D6) 채취 수	① 한 경소 ② 2-5 ③ 6-10 ④ 11-20
(D7)회수 량 (-100 Mesh)	① 매우소량(<50g) ② 소량(50-70g) ③ 보통(70-100g) ④ 많음(>100g)	(E1) 하천바닥 오염(강함)	오염정도 : ① 미약 ② 보통 ③ 심함 질점재질 : ① 황-갈 ② 녹 ③ 백 ④ 흑
(E1) 상류 오염원 유무	① 없음 ② 불확실하나 있을 가능 ③ 확실함 있음	(E2) 하천바닥 오염(강함)	오염정도 : ① 미약 ② 보통 ③ 심함 질점재질 : ① 황-갈 ② 녹 ③ 백 ④ 흑
(E3) 오염원 종류 (유선순번별 ①>②>③)	① 농경지(11는 12월 13과수원) ② 주거지마을(생활오염) ③ 공장산역체(31성유연체 32피혁 33정제 344철계강제면 35공약물 36금속도금 37도자기유리 38기타) ④ 광산(41금속광산 42비금속광산 43석재/광제석광) ⑤ 야외광광장 ⑥ 광원(61규산 62도금 63금단 64유연지) ⑦ 군부대 ⑧ 축산/농장 (81제지 82 83 84기타) ⑨ 기타 오염원:		
(E4) 오염원 (광산) 명칭	(E5) 소재지 (군/면/리)	(E6) 오염원 (광산) 방향	① <50m ② 50-100m ③ 100-500m ④ 500m-1km ⑤ 1km 이상
(E6) 오염원 (광산) 방향	① E ② W ③ S ④ N ⑤ NE ⑥ NW ⑦ SE ⑧ SW	(E7) 오염원 (광산)거리	
(E8) 광 종	① 금속(1금-은 2구리 3납+연 4철 5몰스텐 6몰리브덴 7니켈/코발트 8망간 9기타 금속) ② 비금속(11석회석 22석탄 23납석/황석 24정반석 25고령토 26망석/규석 27형석 28수정/옥 29기타 비금속) ③ 석재/광제 (31화강석 32대리석 33암골재 34기타 석재/광제)		
(F1) 수 온 (소스점1/자리)	(F2) pH (소스점1/자리)	(F3) 전기전도도 (면위 : μS/cm 기준)	(F4) TDS (F5) Eh (F6) DO (F7) HCO <sub>3</sub>
		μS/cm	mg/L mV ppm mL
℃		mS/cm	
(G) 특기사항			

Fig. 1. A current field checklist form (Shin et al., 2000a).

의 지구화학 기준치 설정 프로젝트(G-BASE: Geochemical Baseline Survey of the Environment)에서는 하천 퇴적물시료의 경우 6%, 물시료는 8% 정도의 대조시료를 권장하고 있다(Johnson *et al.*, 2005). 분석시차가 다른 두 데이터 집단들의 분석결과에서 편차가 발생하거나( $y=x+b$ ), 어느 비율로 증가 또는 감소하거나( $y=ax$ ), 또는 두 경우 다 해당될 때( $y=ax+b$ )에는 편차( $b$ )와 증감비율( $a$ )을 고려한 수준 맞추기가 반드시 이루어져야 한다. 단, 국지적인 탐사에서는 이와 같은 절차를 거칠 필요는 없다.

특히 하천퇴적물 탐사에서는 시료의 대표성이 일관되게 유지되는 지 확인할 필요가 있다. 하나의 하천퇴적물 시료는 일정한 거리 내에서 여러 군데에서 조금씩 모은 여러 부표본(sub-samples) 들을 섞어서 체질을 거친 하나의 조합 시료(composite sample)이다. 그러므로 엄밀히 말하면 조합 시료의 조성은 채취시점에 따른 하천 현장여건 변화, 부표본들 채집장소 차이, 조사자에 따른 채집방법 차이 등에 따라 달라질 수 있다. 시차를 두고 중복채취한 시료의 분석결과를 비교하면 일관되게 정비례관계가 유지되는 것이 일반적이지만, 일정 범위 내에서 약간의 차이가 인지될 때도 있다. 예를 들어, 전국-규모의 광역탐사(P13)에서 무작위로 선정한 91개 지점에서 7~9 개월의 시차를 두고 중복채취한 시료들끼리 분석결과를 비교한 사례(Shin *et al.*, 2000a)에 의하면, 주원소는 거의 상관계수 0.999 이상으로 자유도를 고려한 신뢰도 0.001 미만으로 잘 일치하며, 회귀분석 결과에서도 기울기 0.8 내지 1.2 범위에서 높은 상관관계를 유지한다. 특히  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ 는 변화량 0.7% 이내로 매우 잘 일치한다.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  등은 2~8% 범위의 작은 변화량을 보인다. 미량원소의 경우에는 Zn, Rb, Sc, Cs, Co, Cr, Pb, Ni 등은 변화폭이 모두 10% 이내로 작으며, Be, V, Li, Ba, Zr, Sr 등의 변화량은 10%대 범위에서 차이를 보이거나 절대 함량의 변화자체는 크지 않다.

### 3. 지구화학도의 기술 진화

#### 3.1 지구화학도 변천 개요

탐사과정에서 가장 중요한 일은 분석 데이터에 기반한 탐사결과를 시각적으로 판독하기 편하고 데

이터 해석에 효율적인 형태의 지구화학도로 표현하는 것이다. 지난 35년간 지구화학도는 프로젝트에 따라 다양한 형태로 변천해왔다(표 2, 3; 그림 2).

초기 광역탐사에서는 함량에 따라 크기가 점점 커지는 원형 점들을 수작업으로 표시하는 방식이 선호되었다(그림 2a). 1:5만 도폭단위로 원형 점지도가 제시된 사례는 호명 및 서벽리도폭에 대한 우라늄분포도(M1; 그림 2a)가 처음이다. 1980년대부터 전산지도로 탈바꿈하면서 표현 유형도 다양해졌고 표현 기술도 크게 발전되었다(표 2, 3). 첫 단계(1981 - 1988; M2)에는 흑백 심볼지도(그림 2b), 그 후속단계(1989 - 1997; M3, M4)에는 주로 컬러 등고선지도(그림 2c)로 작성되었다. 면적 커버속도는 처음에는 매년 1:5만 도폭 1매 내외에 불과하였으나, 뒤에는 환경오염을 고려하여 매년 4매까지로 늘어났다.

1990년대에 들어와 환경오염문제가 주요 이슈로 떠오름에 따라, 지구화학탐사 목적도 새로운 자원의 탐색보다는 오히려 환경오염실태 파악과 평가 쪽으로 기울게 되었다. 국제 지구화학도 작성의 권장안(Darnley *et al.*, 1995)을 바탕으로 하천퇴적물( $150 \mu\text{m}$  이하)을 이용하여 작성된 전국-규모의 지구화학도(M7, M8)는 처음으로 백분위수 등급구분에 의한 컬러표면지도(그림 2e)로 작성되었다. 2010년 들어 재개된 자원탐사에서는 박스플롯 등급구분에 의한 탐사 데이터분석(EDA) 심볼로 작성된 지구화학도(M11; 그림 2i)가 처음 출현하기에 이른다.

#### 3.2 지구화학도 사례별 장단점 분석

##### 3.2.1 수작업 흑백 지도(원형 점지도)

심볼을 사용하여 수계도 상에 함량을 표시하는 방식은 초기 탐사부터 1990년대까지 널리 선호돼왔다. 함량등급을 임의로 구분하여 크기가 점점 커지는 원형 점들(예: ●●●)로 나타낸 경우가 흔하다(M1; 그림 2a). 이 방식은 컬러 전산지도 출현 이후에도 비교용으로 함께 제시되기도 하였다. 원형 점지도에서 문제는 함량등급 간의 경계를 어떤 기준에 두고 선택할 것인지 결정하는 것이다. 결과적으로 나타낸 함량분포는 데이터 구조와 관계없이 표현되는 취약점을 갖는다. 높은 함량을 나타내는 큰 점들이 전체를 지배하는 것처럼 시각적인 편견을 가져올 수도 있다. 점지도에서는 크기가 다른 등급의 점들이 서로 가까이 있으면 구별이 가능하지만, 멀리 위

**Table 3.** Different methods of geochemical map production and their advantages and problems.

GC map	Type of map <sup>1</sup>	Method of map production	Map unit <sup>1</sup>	Map scale & size in report	Class selection	Advantages and Weak-points
M1	• Black-and-white growing dot map	• Hand-marking with solid dots • Growing size related to values	each sheet (1:50,000)*	<B5 size in report	Arbitrary	• Good visual if scaling is done correctly • Scaling can be difficult • Higher values dominate the visual effect
M2	• Black-and-white symbol map	• Symbols with different intensity • Marking analytical values on sites	each sheet (1:50,000)*	1:50,000 scale (real size)	Arbitrary	• Choice of symbols is crucial • Higher values plotted by thick symbols dominate the visual effect • Not related to data structure; Outliers are not defined
M3, M4	• Color contour map (° partly with growing dot map)	• Color scaling by classes chosen arbitrarily • Smoothing of isolines	each sheet (1:50,000)**	<B5 size in report	Arbitrary	• Not related to data structure; Outliers are not defined • Higher values dominate the visual effect of the map
M5	• Color block map	• A compilation of previous data from a long-term mapping by 1:50,000-scale sheet unit • Equidistant interpolation (each block by 1.25x1.25km) • Class scaling by gradational & continuous colors	1 sheet (1:250,000)	1:1,100,000 scale in report	Arbitrary/ Continuous	• Angular visual due to un-smoothing • Not related to data structure; Outliers are not defined • Evident GC breaks between area boundaries having significant temporal differences
M6	• Color contour map	• Wide-spaced low-density map using stream water • Equidistant interpolation • Class scaling by gradational & continuous colors	each sheet (1:250,000)	<B5 size in report	Arbitrary	• Quick coverage using low-density water sampling • Limited informations from lower sampling density • Not related to data structure; Outliers are not defined
M7, M8	• Color surface map (° Ternary image map)	• Nation-scale maps based on stream sediments(-150 μm) as recommended by International GC Mapping • Inverse Distance Weight (IDW) interpolation; Class boundaries by percentiles • Ternary image maps using RGB technique	each province	1:700,000 scale in atlas (A3 size)	Percentiles	• Directly related to data structure when classes are evenly spread over the whole data range • Good visual with scaling chosen by percentiles • Outliers are not defined • Further informations on outliers derived from mineralization or environmental contamination
M9	• Color surface map	• A compilation of maps based on data from 8 provinces (except an island province) • IDW interpolation; Class boundaries by percentiles	whole country	1:1,800,000 scale in atlas (A3 size)	Percentiles	• same as above (M7 & M8)
M10	• Color surface & contour maps • Color symbol map	• Class boundaries selected arbitrarily and by percentiles • Color symbols with percentile-classes	local area	1:16,000-22,000 scale in report	Percentiles; Arbitrary	• Not related to data structure; Outliers are not defined • Good visual with scaling chosen by percentiles
M11	• EDA symbol map; • Color surface map (° Color symbol map)	• First attempt using EDA symbols; Class boundaries selected by boxplot statistics • IDW interpolation; Class boundaries by percentiles • Color symbols with percentile-classes	9 sheets (1:50,000)*	1:480,000 scale in report	Percentiles/ Boxplot classes	• Related to data structure; GC processes can be visible; Good visual with scaling chosen by percentiles • Difficult to read at first glance; High values have no visual impact • No high visual contrast between high and low values due to same size of dots

<sup>1</sup> maps on scale of 1:50,000: \*old sheet=415km<sup>2</sup>/each sheet; \*\*new edition=610km<sup>2</sup>/each sheet



치한 것들끼리는 크기구별이 잘 되지 않는 것이 단점이다. 매우 높거나 낮은 값들이 지나치게 강조되는 일면이 있어, 전체 데이터의 약 90%를 차지하는 중간 정도에 해당하는 값들이 소홀히 다루어지기 쉽다. 따라서 전체 데이터 구조 즉 광역적 분포를 결정짓는 지구화학 작용을 이해하는 데에는 적합하지 않다.

**3.2.2 초기 전산지도(흑백 심볼지도)**

태백산광화대 중심부에 대해 1:5만 도폭단위로 작성된 최초 전산 지구화학도는 편지카드에 시료좌표와 함량값을 입력하여 마그네틱테이프에 수록한 후 SYMAP V.5 프로그램을 이용하여 한국과학기술연구원(KIST)의 대형컴퓨터를 이용하여 전산처리하였다(Lee *et al.*, 1983). 한 시료지점의 데이터는 주변 7개 지점의 데이터에 대해 보간을 실시하였다. 지구화학도는 진하기가 다른 다양한 흑색 심볼들(예: · + X ⊖ ⊗ ■)로 도시되었고(그림 2b), 1:5만 실측척으로 제작되었다. 함량등급은 최저-최고 함량을 고려하여 임의로 구분함으로써 함량분포도에 데이터 구조가 잘 반영되지 못하는 약점이 있다.

**3.2.3 전산 컬러지도(등고선/블록/표면/심볼지도)**

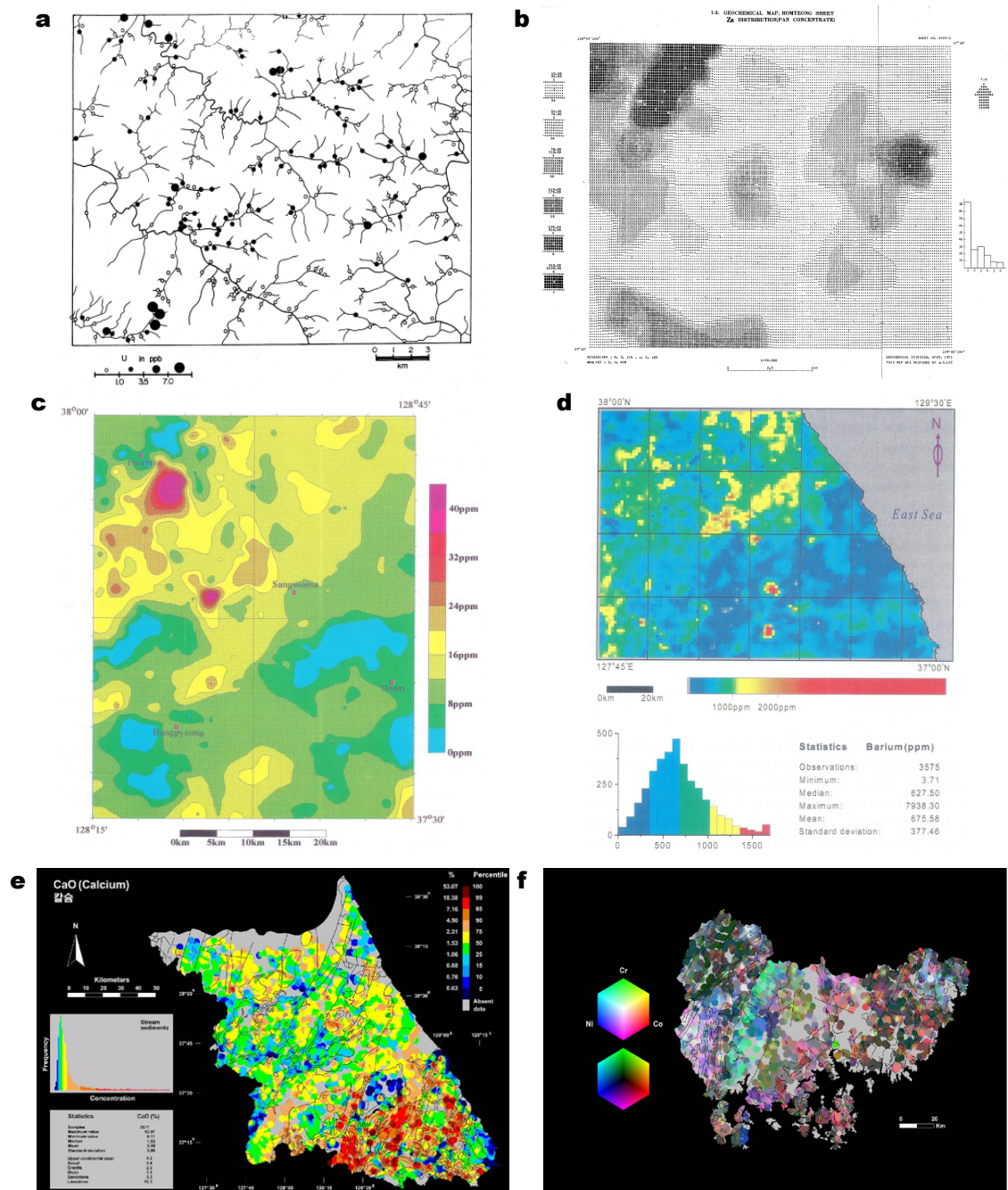
1:5만 도폭단위의 지구화학도(M3, 4)는 등치선(等值線, isolines)을 구축하여 데이터를 집어넣는 등고선지도(contour map) 방식으로 제작되었다(그림 2c). 개인용 컴퓨터 기반의 프로그램(TREDAT, Lee *et al.*, 1989; SURFER V6.04 등)을 이용한 등거리보간법에 의해 전산처리되었다. 함량등급을 임의로 선택함으로써 데이터 구조의 표현에 취약하다. 연차적으로 취득된 1:5만 도폭단위로 취득된 자료(1981-1987; M2, 3, 4)에 기반하여 1998년에 통합된 1:25만 강릉도폭 지구화학도(M5; 그림 2d; Lee *et al.*, 1998)는 상용프로그램 SURFER V6.04 (Golden Software Inc.)를 이용하여 크리깅에 의해 등거리보간법으로 전산처리되어 블록지도(block map) 형태로 제작되었다. 블록 하나가 커버하는 면적은 1.25 X 1.25 km 규격이다. 제작된 지구화학도는 단위블록이 모나게 표현됨으로써 보기에 매끄럽지 못한 점이 있다.

1990년대 이후의 지구화학도들은 등치선들 사이의 영역을 컬러-코드화시켜 이동평균기법을 사용하여 유연하게 다듬어진 표면지도(surface map)로 제작된 경우가 많다. 전국 8개 도별로 작성된 컬러지도

(M7, M8)는 역거리가중법에 의한 크리깅 보간법으로 전산처리되었다(그림 2e). 지질경계선을 밑그림으로 넣고 다양한 부가정보들(예: 빈도분포도, 시료수/최고-최저값/중앙값/산술평균값/표준편차, 상부대륙지각평균, 대표암석 세계평균함량)이 제시되어 데이터 해석에 효율을 높였다. 이 지도는 처음으로 함량등급을 백분위수에 의해 구분한 사례로서, 등급이 전체 데이터 범위에 고르게 퍼진 경우에 함량분포는 데이터 구조를 잘 반영할 것이다. 보간법에 의한 자료처리에는 자체개발한 프로그램(KGCM1; Shin *et al.*, 2001a)이 사용되었다. 이동 창(moving window) 방법을 적용하여 구불구불한 경계부(예: 도 경계, 해안지역) 바깥이나 시료가 존재하지 않는 곳(예: 대도시; 넓은 충적평야) 등에서는 자료가 없는 것으로 사실적으로 처리된다. 상대적으로 계산량이 적은 역거리 가중(inverse distance weight: IDW) 보간법을 적용하여 자료처리 소요시간을 줄였다. 이동 창을 반경 2 km인 원으로 하고, 창 이동거리(추정점의 간격)를 250 m로 할 때 자료처리가 가장 효율적이었다.

대부분 컬러 등고선지도 또는 표면지도는 시료지점들 사이를 유연하게 다듬는 기법을 채택하므로, 시각적으로는 보기에 좋다. 유연하게 다듬어진 컬러지도가 해당 지점의 국한된 함량만 제시하는 점지도에 비해 정보전달력이 좋다고 보는 것은 편견이라는 견해도 있다(Reimann *et al.*, 2005). 숙련된 지구화학자들이 어느 원소의 공간적 분포를 지배하는 지구화학 작용을 추출하여 해석하고자 할 경우에는 유연하게 다듬어진 지도가 오히려 불리할 수도 있다. 유연화되면 국지적 정보가 손실될 수도 있고, 유연화 알고리즘(예: 탐색 반경, 거리 가중)에 따라 결과적으로 지도가 달리 표현될 수 있다. 적색(높은 함량) 쪽에 자동적으로 관심이 쏠리게 되어 객관적이지 못할 수도 있다(Reimann *et al.*, 2005). 그럼에도 불구하고 컬러 표면지도는 뛰어난 시각적 효과 때문에 널리 선호되는 추세이다. 국내외 많은 지구화학지도 책에서는 백분위수 등급구분에 의한 컬러 표면지도 방식이 널리 채택돼왔다(예: BGS, 1987, 1996; Shin *et al.*, 2001a,b,c,d,e, 2007a,b,c; Lee *et al.*, 2007).

컬러 심볼지도는 한 가지 심볼(예, ○, ◇, ☆)을 사용하여 함량수준별로 다른 색으로 표현된다. 이는 해당 시료지점의 국한된 정보를 제시하는 일종의 점



**Fig. 2.** Selected examples of regional geochemical maps in Korea. (a) A growing dot map for U in stream water from Homyeong Sheet (1:50,000) [M1], (b) A black-and-white symbol map for Zn in pan concentrates from Homyeong Sheet (1:50,000) [M2], (c) A color contour map for Ni in stream sediments from Hyeonri-Bongpyeong-Yeongok-Doam sheets (1:50,000) [M3], (d) A color block map for Ba in stream sediments compiled for the Gangneung Sheet (1:250,000) [M5], (e) A color surface map for CaO in stream sediments from Gangwon-do [M7], (f) A ternary image map for Cr-Ni-Co in stream sediments from Gyeongsangnam-do [M8], (g) A color surface map for CaO in stream sediments compiled for eight provinces [M9], (h & i) A surface map (h) and a black-and-white EDA symbol map (i) for Ta in stream sediments from the southern Taebaeksan Mineralized Belt [M11]. See Tables 2 & 3 for further details on maps.

지도이다. 최근 희토류/희유원소탐사(M10, M11)에서는 백분위수에 의해 함량등급을 구분한 컬러 심볼지도가 제시되었다. 이런 지도에서 심볼의 컬러는 다르지만 크기가 같아서 높고 낮은 함량들끼리 쉽게 구분이 되지 않는 약점이 있다.

3.2.4 삼성분 이미지 지도

서로 높은 연관성을 갖는 일부 성분들(예: Cr-Ni-Mg, Co-Ni-Mn, Mg-Ca-Sr, Zn-Pb-Ba 등)에 대해 빛의 삼원색(RGB)의 조합(혼합빛)으로 제작된 삼성분 이미지(ternary image) 지도(M7, M8; 그림 2f)는 빛의 밝고 어두운 정도로 상관관계를 나타낸다. 세 가지 빛이 최대 값으로 혼합되면 백색, 최소이면 흑색이 된다. RGB 삼성분도에서 각 성분의 함량은 백분위수이므로 각 원소의 함량에 따라 다양한 세기의 빛이 만들어진다. 좋은 상관관계를 갖는 성분들끼리, 높은 함량을 가질 경우에는 밝고 강한 빛으로 나타나고, 상관관계가 좋더라도 함량이 낮은 경우에는 어두운 빛으로 표현된다(그림 2f).

일반적으로, 정규분포 또는 한쪽으로 조금 치우친 분포를 보이는 성분들은 광범위한 색상을 보이고, 다양한 지질 분포를 잘 반영한다. 반면에, 한 쪽

으로 심하게 치우친 비정규분포를 보이는 일부 성분들은 대부분 빛의 밝기가 낮아져 매우 낮은 값과 평균치의 구분이 잘 되지 않고 높은 값만 뚜렷하게 돋보이게 되므로 유해원소가 복합적으로 농집된 지역의 도출이나 광상부존이 유력시되는 광화대의 탐색에 유효하다.

3.2.5 박스플롯 등급의 EDA 심볼 지도

박스플롯(Tukey, 1977)은 탐사데이터분석(EDA; Velleman and Hoaglin, 1981)에 막강한 그래픽이다. 박스플롯이 지구화학도 작성에 필요한 함량등급 정의에 이상적으로 부합한다는 것은 오래 전에 알려져(Kürzl, 1988), 외국에서는 오래 전부터 사용되었다(O'Connor et al., 1988; Reimann et al., 1998). 박스플롯의 구성은 순서 통계에 기반하며 데이터 분포에 대한 어떠한 가정도 두지 않는다. 박스플롯에서 박스는 사분위수간 범위(Inter-Quartile Range: IQR) 즉 75번째 백분위수-25번째 백분위수(Q3-Q1)에 해당하며 전체 데이터의 약 50%를 차지한다. 박스 길이의 1.5배에 해당하는 측정값을 넘어선 값을 데이터 아웃라이어로 정의한다. 즉 하위 아웃라이어는 하위 사분위수-(IQR\*1.5) 이하인 값들, 상위 아웃라이어

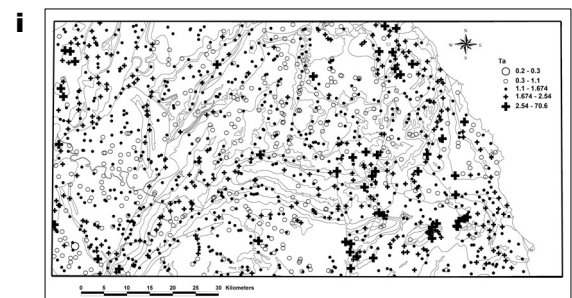
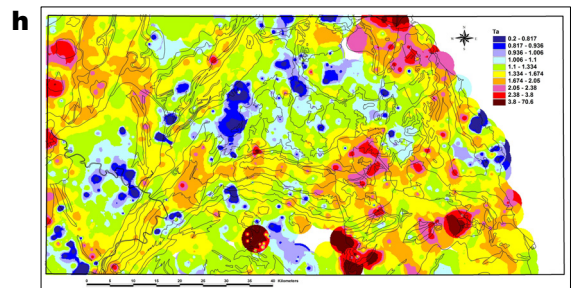
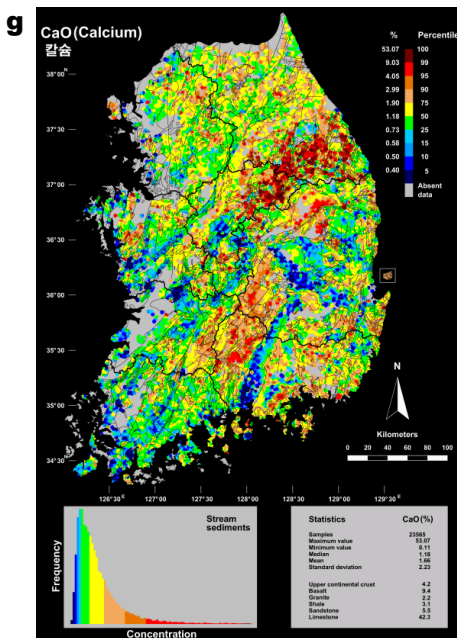


Fig. 2. continued.

는 상위 사분위수+(IQR\*1.5) 이상인 값들로 각각 정의된다(Smyth, 2007).

국내에서 박스플롯에 의한 데이터 분석은 여러 목적에 사용되었다(예: Chon and Ahn, 1996; Ahn and Chon, 1998; Chae *et al.*, 2012; Youm *et al.*, 2013). 그러나 박스플롯 등급구분을 적용한 EDA 심볼을 사용하여 지구화학도가 작성된 것은 현재 진행 중인 희유원소 광역탐사(Youm *et al.*, 2013)가 첫 사례이다. EDA 심볼지도는 데이터 구조를 객관적으로 보여주기 위해서는 각 등급에 해당하는 심볼이 시각적으로 균등한 비중을 가져야 한다는 개념에 기초를 둔다. 심볼은 일반적으로 낮은 함량부터 다섯 등급(예, ○ ○ · + ■)으로 표시된다: 안쪽 50%를 차지하는 데이터는 가장 작은 점(·), 그 양쪽의 하위 및 상위 약 25%에 해당하는 데이터는 작은 심볼(하위 ○, 상위 +), 하위 및 상위 아웃라이어는 큰 심볼(각각 ○, ■)로 나타낸다. 그러나 EDA 심볼은 크기에 따라 시각적인 효과가 달라지므로, 그 크기를 조정하여 규격화시킬 필요성이 제기된다(Kürzl, 1988).

박스플롯 등급구분에 의한 EDA 심볼로 작성된 지구화학도는 공간 데이터 구조를 가시적으로 잘 드러내는 장점을 갖는다. 공간적인 지구화학 분포를 지배하는 주 작용들의 이해와 해석에 효율적이다. 박스플롯은 아웃라이어 외에도, 주어진 데이터 세트의 중심, 스케일, 비대칭도(skewness), 첨도(kurtosis)를 보여주기 때문에, 다른 데이터 세트와 그래픽으로 비교하기에 알맞다. 박스플롯을 통해 아웃라이어 자동 체크가 가능한 점도 백분위수 방법을 능가하는 주 장점이다. 이러한 장점에도 불구하고, 이 방식의 지도가 과거 오랫동안 큰 관심을 끌지 못했던 것은 뜻밖이다. EDA 흑백 심볼지도는 얼핏 보기에 밋밋해 보여서, 컬러지도의 적색 컬러(높은 값)에 익숙해진 사람들에게는 정보내용이 부족해 보일 수도 있다. 탐사결과를 제시할 때에 상호보완적인 효과를 얻기 위해서는 흑백 EDA 심볼지도(그림 2i)와 시각적으로 장점을 갖는 백분위수 등급구분에 의한 컬러 표면지도(그림 2h)를 함께 제시할 것을 제안한다.

### 3.3 지구화학도 설계

#### 3.3.1 도면 형태, 축척, 배경정보 선정

지구화학도 설계단계에는 도면 형태와 규격, 수록할 정보, 데이터 구조 파악, 함량등급 구분 등 지구

화학도가 갖춰야 할 내용과 조건을 사전에 파악하고 결정해야 한다. 광역 지구화학탐사의 야외조사 시에는 1:5만 축척의 지형도를 사용하는 것이 일반적이거나, 탐사결과 지구화학도는 그 보다 훨씬 작게 만들어져 A4-규격(210 X 297 mm) 이하의 보고서에 수록되어 제시되는 경우가 대부분이다(표 3). 예외로, 태백산광화대 중심부 7개 도폭의 초기 흑백 전산 지구화학도(M2)는 1:5만 실축척으로 제작되었고, 8개도 단위로 작성된 지구화학도(M7, M8)는 1:70만 축척으로 작성되어 A3-규격(297 X 420 mm)의 지도책에 수록되었다. 지도만 보면 A4-규격을 넘지 않는다. 경험에 따르면 지구화학도 크기는 최대 A4-규격을 넘지 않는 것이 바람직한 것으로 알려졌다(Johnson *et al.*, 2005). 축척을 늘려 큰 지도로 제시된다고 해서 정보전달력이 늘어나는 것이 아니라는 점을 인식할 필요가 있다. GIS 도입으로 많은 지도가 전산 이미지로 제공되면서, 축척은 별 문제가 되지 않는다.

지도에 이차 정보가 너무 적게 포함되어도 문제지만, 너무 많이 들어가도 판독하기 어렵게 된다. 보고서에 수록된 작은 크기의 지구화학도에 밑그림으로 지질도를 깔면 오히려 혼란스러워진다. 원소분포를 지배하는 것은 지구화학적 성질이지 탄 부속정보가 아니므로 지구화학적 특성과 무관한 정보는 수록하지 않는 것이 낫다. 그림 2에 제시된 대표사례에서도 볼 수 있듯이, 함량분포도에 수록된 배경정보의 종류는 다양하다. 데이터 분포히스토그램만 제시된 경우도 있고, 부가정보 없이 함량분포도만 제시된 경우도 많다(그림 2). 지도책에 수록된 도별 및 전국 지구화학지도(그림 2e, 2g)에는 지질경계가 밑그림으로 포함되고, 데이터 히스토그램, 각종 통계값, 세계평균함량 등이 제시되어 데이터 해석에 도움이 된다. 또한 데이터 분포 히스토그램을 백분위수로 구분된 함량의 컬러에 맞춰 제시함으로써 데이터 구조 파악을 가능하게 해준다.

#### 3.3.2 데이터 구조와 분포 파악

1980년대까지는 지구화학 데이터를 대부분 정규 분포에 가깝다고 가정하고 고전적 통계법을 자주 썼다. 그러나 실제로 지구화학 데이터는 정규분포 또는 대수정규분포를 따르지 않고 여러 데이터 집단들이 복합된 경우가 일반적이다. 서로 다른 지구화학 작용들에 관계된 복수의 분리된 분포들이 서로 겹치

기 때문에 결과적으로 나타나는 데이터 분포는 마치 대수정규분포를 하는 것처럼 보일 수 있다. 그런데도 일부 지구화학자들은 여전히 지구화학 데이터를 대수로 전환하면 대수정규분포를 따를 것으로 가정한다. 하나의 정규분포는 제한된 수의 높은 값들(아웃라이어)로 인해 왜곡된다(Reimann and Filzmoser, 2000; Reimann *et al.*, 2005).

광역 지구화학도에서 가장 지배적으로 나타나는 데이터는 뚜렷한 지구화학적 특성을 갖는 기반암 암상에 관계된 것이다. 암상과 관련된 원소분포 외에도 인위오염, pH, 입자크기, Fe-Mn 수산화물, 유기물, 해무 등 다양한 요인에 기인한 특정 성분의 부화나 결핍 등 이차작용의 결과가 중첩되어 나타나게 된다. 해안을 따라 해무 영향에 의해 하천수 내에 특정 성분(Na, Cl)의 부화된 현상이 여러 사례에서 확인되었다(Lee *et al.*, 1998; Reimann, 2005).

광역 지구화학도에 데이터 구조를 성공적으로 표현하기 위해서는, 데이터 구조를 공간적 상황으로 변환시키는 적절한 절차를 거쳐 함량등급을 정의하는 것이 매우 중요하다. 백분위수 또는 박스플롯은 이런 요구를 충족시키지만, 임의 등급구분이나 연속 등급은 충족시키지 못한다. 광화작용 뿐 아니라 환경오염과 관련된 작용들은 높은 값이나 낮은 값의 원인이 될 수 있다. 따라서 지구화학 데이터에 적합하지 않은 가정에 기반한 통계 실행을 거쳐 함량의 높고 낮음을 그냥 정의하는 것 보다는, 광역 분포도를 만들어서 검사하는 것이 더 중요하다.

### 3.4 함량등급 선택

함량분포가 데이터 구조에 관계되어 표현되어야만 그러한 함량분포를 초래한 배후의 지구화학 작용들을 이해할 수 있게 된다. 따라서 이러한 함량분포가 잘 드러나게 하려면 함량등급을 적절히 구분하는 것이 절대 중요하다. 함량등급 구분 방법은 프로젝트에 따라 제각기 다르다(표 3).

첫째, 함량등급을 임의로 선택하여 0.5, 1.0, 1.5, 2.0... 또는 10, 20, 50, 100...mg/kg 식으로 구분하면, 얼핏 보기엔 잘 정돈된 값들처럼 보이지만, 순서대로 단순 나열한 것에 지나지 않는다. 이렇게 등급을 임의로 선택하면, 지도작성에 동원된 데이터의 공간적 구조와는 아무런 관계를 갖지 않게 되어, 데이터 분포를 초래한 원인이 되는 지구화학 작용의 추론이

어렵게 된다. 임의로 등급을 구분하는 방법은 비록 손쉽다고 해도 반드시 피해야 된다. 등급구분은 일반적으로 낮은 쪽 함량보다 높은 쪽 함량들 간의 차이에 비중을 두고 나누는 경우가 많은데, 이렇게 하면 결과적으로 낮은 값들을 소홀히 다루는 지도가 된다. 최상위 함량분포에 너무 초점을 맞추면, 등급을 임의 선택하는 경우와 마찬가지로, 엄연히 존재하는 데이터 구조를 무시하는 것이 된다. 지구화학도에 나타나는 광역 패턴으로부터 지구화학 작용을 식별하기 위해 데이터 구조가 드러나도록 하려면 컬러가 전체 함량범위에 걸쳐 거의 균등하게 퍼지도록 해주어야 한다.

둘째, 백분위수에 의한 함량등급 구분법은 순서 통계에 기초하며, 그 기저에 어떠한 데이터 분포도 가정하지 않는다. 백분위수 접근방법에는 장점이 많지만, 0부터 100까지 백분위수 범위에 걸쳐 등급을 어떻게 분배할지 결정짓는 것이 문제다. 일반적으로 낮은 쪽 함량보다 높은 쪽 함량들 간의 차이에 비중을 두고 등급을 나누는 경우가 많은데, 이렇게 하면 결과적으로 낮은 값들을 소홀히 다루는 지도가 된다. 높은 함량분포에 너무 초점을 맞추면, 등급을 임의로 선택하는 경우와 마찬가지로 엄연히 존재하는 데이터 구조를 무시하는 결과가 된다. 지구화학도에 나타나는 광역 패턴으로부터 지구화학 작용을 식별하기 위해 데이터 구조가 드러나도록 하려면 컬러가 전체 함량범위에 걸쳐 거의 균등하게 퍼지도록 해주어야 한다. 백분위수의 선택 방식은 프로젝트 목적과 성격에 따라 약간씩 다를 수 있다. 예컨대, 북유럽 Kola 프로젝트(5, 25, 50, 75, 90, 98, 100%; Reimann *et al.*, 1998), 중앙 노르웨이의 지구화학도 작성 프로젝트(10, 25, 50, 75, 90, 95, 99, 100%; Banks *et al.*, 2001); 한국의 전국 지구화학도 작성 프로젝트(5, 10, 15, 25, 50, 75, 90, 95, 99, 100%; Shin *et al.*, 2001a), 영국의 G-BASE 프로젝트(5, 15, 25, 50, 75, 90, 95, 97, 100%; Johnson *et al.*, 2005). 대부분 프로젝트에서의 백분위수 등급구분은 25-90 백분위수 범위 내에서 모두 같으며, 90 백분위수 이상(95, 97, 98, 99, 100%)과 25 백분위수 이하(5, 10, 15%)에서 약간씩 다르다. 만일 지구화학도 전체 모습은 흐트러지지 않으면서도 높은 값의 탐색에 더 만족스럽게 하려면, 위쪽 등급 하나를 추가하고 낮은 쪽 끝부분 등급 하나를 뺄 수 있다. 전국 8개 도 단위로 작성된 지구

화학도(M7, M8; 그림 2e)에서는 위쪽에 99%, 아래쪽에 5% 백분위수를 선택하였는데, 이는 유해원소의 과다농집(높은 값)과 필수원소의 지나친 결핍(낮은 값)을 보이는 지역을 세분하여 도출하기 위함이다.

셋째, 박스플롯 의한 등급구분(앞의 3.2.5 참조)은 탐사데이터분석(EDA; Velleman and Hoaglin, 1981)에 막강한 그래픽이다. 박스플롯 등급으로 구분한 EDA 심볼을 사용하여 작성된 지구화학도는 현재 진행중인 희유원소 광역 지구화학탐사(M11; 그림 2i; Youm *et al.*, 2013)에서 처음 제시되었다. 박스플롯 등급구분에 기반하여 작성된 지구화학도에서는 공간 데이터 구조가 가시적으로 잘 드러난다.

### 3.5 지구화학 통계값 설정과 정의

지구화학 데이터 통계분석에서 아웃라이어를 식별하고 비정상적 거동을 탐지하는 것은 매우 중요한 일이다. 오래 전에 Hawkes and Webb (1962)는 본 조사에 앞서 국지적 문턱값 정의에 필요한 방향설정 조사를 실시할 것을 권장하였다. 만일 유용한 결과를 얻지 못하면 데이터를 정렬하고 상위 2.5%를 문턱값 이상의 아웃라이어로 선정할 것을 제안하였다. 반드시 2.5%로 결정해야 하는 뚜렷한 근거는 제시되지 않았지만, 2.5%는 추가조사하기에 합리적인 시료수이고 실질적인 접근 대안으로 간주되었다. 데이터 세트가 큰 경우에는 [평균값(mean) $\pm$ 2sdev(표준편차, standard deviation)] 법칙을 사용하여 추가로 확인조사할 약 2.5%의 상위 또는 하위 극값(extreme values)을 식별해낸다. 이 절차는 수학적 계산과 데이터가 정규분포로부터 도출된다는 가정에 기반한다. 통계학자들은 이 접근법을 써서 정규분포 내의 극값들을 식별해낸다.

지구화학자는 드물게 일어나는 지구화학 작용을 지시하는 아웃라이어에 관심을 갖게 마련이다. 아웃라이어는 동일 분포 내의 한 부분에 해당되는 값이 아니라 통계적으로 판 집단에 속하는 값으로 정의된다. 예컨대, 아웃라이어는 자원탐사에서는 광화작용을 지시하는 시료들로부터 나타나고, 환경오염 지역에서는 다른 작용이나 출처에서 유래된 오염분포에서 비롯된다. 이 경우에는 [평균값 $\pm$ 2sdev] 법칙으로는 적절한 문턱값 추정이 불가능하다. [평균값 $\pm$ 2sdev] 법칙은 사실적 집단 매개변수들인 경우에만 타당하다. 그러나 경험적으로 측정된 값들을 보면, 데이터

분포에서 비롯되었든 아니면 이차(오염된) 분포에서 비롯되었든, 극값들에 의해 상당히 영향을 받는다. 이런 점으로 보아 [평균값 $\pm$ 2sdev] 법칙은 타당하다고 볼 수 없다. 이런 문제를 피하기 위해서는, 계산에 주관이 들어가기 전에 명백한 아웃라이어들을 먼저 제거하는 방법이 흔히 쓰인다. 또 다른 방법은 데이터를 대수-변환시켜 아웃라이어들의 영향을 최소화시키고 난 다음에 계산에 들어가는 것이다. 그렇지만 문턱값은 여러 집단의 데이터에 기반하여 추정되는 것이 문제이기 때문에, 판 방법에 의해 아웃라이어를 식별하거나 문턱값을 정의할 필요가 있다.

광물자원탐사에서, 지구화학 배경치는 [평균값 $\pm$ 2sdev] 범위 내의 값으로 정의되는 경우가 자주 있다. 배경치는 일정한 범위를 갖는 값이지 단일 값이 아닌 것으로 인식되었다(Hawkes and Webb, 1962). 정확하게 계산된 [평균값+2sdev]는 자원탐사에서는 배경치와 이상치를 구별하는 문턱값으로 사용되며, 환경지구화학에서는 한계수준(action level)이나 정화 목표치(clean-up goal) 정의에 여전히 사용되고 있다. 과거 지구화학탐사에서는 낮은 값(하위 아웃라이어)은 높은 값만큼 중요하게 다루지 않았는데, 실제로 낮은 값도 중요한 의미를 가지므로 이런 견해는 옳지 않다. 예컨대 낮은 값은 자원탐사에서 광물자원 농집과 관련된 변질대 내에 특정 원소의 결핍을 지시하고, 환경지구화학에서는 필수 미량원소의 결핍을 지시하므로 높은 값 못지않게 중요하다. 전국 지구화학도 작성(Shin *et al.*, 2000a, 2003)에서는 이런 개념에 기초하여 특정 원소의 과다 농집은 물론, 지나친 결핍도 비중 있게 다루었다.

서로 다른 지역에서 특정 성분의 존재량이 같은 수준이라도, 해당지역별 이차 농집(오염)이 일어나기 전의 본래 자연배경치(natural background)의 수준이 어느 정도인지에 따라 현재의 농집정도는 상대적으로 달리 평가될 수 있다. 그러므로 원소함량의 높고 낮음을 정량정성적으로 평가하기 위해서는 지질단위별 자연배경치부터 이해해야 한다. 이차오염이 안된 지역 가운데 동일 지질에 해당하는 여러 측정치로부터 구한 자연배경치에 기반하여 지구화학 기준치가 설정될 수 있다. 많은 국가-규모, 준대륙-규모, 대륙-규모의 큰 지구화학도 작성에서 지구화학 기준치와 배경치는 공간적으로 달라진다는 사실이 밝혀졌다(Salminen and Tarvainen, 1997). 배경

치가 기준치로 사용될 수 있지만, 단일 값으로 주어지면 중요한 지구화학적 특징이 감춰지게 되므로 반드시 범위가 함께 주어져야 된다(Reimann and Garrett, 2005). 지질단위별 자연배경치는 전국-규모 광역탐사(Shin *et al.*, 2000a, 2003)에서 중앙값에 기반하여 설정되었는데, 표에 범위는 포함되지 않았다. 대부분 비정규분포에서는 전체 합량의 50 백분위수에 해당하는 중앙값은 산술평균과 차이가 나므로, 중앙값이 산술평균보다는 더 타당한 척도가 되며, 표준편차는 중앙값 절대편차(median absolute deviation: MAD)로 대체될 수 있다(Tukey, 1977). MAD는 모든 데이터의 중앙값으로부터의 절대편차의 중앙값으로 정의된다. 결론적으로 배경치는 [평균값 $\pm$ 2sdev] 또는 [중앙값 $\pm$ 2sdev]보다는 [중앙값 $\pm$ 2MAD]로 범위까지 제시되는 것이 더 타당하다.

#### 4. 토의와 제언

##### 4.1 오랜 기간에 걸쳐 취득된 기존 지구화학 데이터의 유용성

오랜 기간에 걸쳐 취득된 지구화학 데이터에는 복잡하고 다양한 문제점이 내포된다. 짧은 기간 중에는 문제점이 제대로 드러나지 않지만, 분석 시차가 매우 큰 데이터 세트들 간에 상당한 이질성이 드러날 수 있다. 이러한 문제는 주로 적용 분석법과 시료전처리법이 바뀌거나, 사용장비의 분해능이 변함에 따라 수반된다. 지금까지 국내에서 취득된 지구화학 데이터 가운데 매우 오래 전에 고전적 분석법(예, 비색법)에 의존하여 취득된 데이터를 무시하여 1990년대 이전의 상당 부분은, 검출한계, 정확도, 정밀도, 신뢰도를 고려할 때에, 현 시점에서 유용성 측면에서 그대로 받아들이기에 부적합하다.

국지적인 지역에 대해 단기간 내에 취득한 데이터를 제외하고, 오랜 기간에 걸쳐 취득되는 데이터는 표준물질, 대조시료, 중복시료를 이용하여 표준화(normalization)와 수준 맞추기(leveling) 등을 통해 철저한 품질관리가 필수적이다. 그러나 1990년대까지만 해도 체계적인 품질관리가 되지 않은 경우도 있었다. 분석시차에 따른 데이터의 이질성은 1981년부터 1997년까지 태백산광화대를 대상으로 17년간에 걸쳐 취득된 여러 집단의 데이터를 1:25만 강릉도폭 하나로 통합하는 과정(M5)에서 드러났다.

오랜 기간에 걸쳐 여러 분석기관(한국지질자원연구원 2개 실험실, 대학교 2개소, 기업연구소 1개소)에서 다양한 분석방법(비색법, AAS, ICP-AES, IC 등)과 서로 다른 시료전처리와 품질관리방법을 적용하여 취득된 데이터를 그대로 통합할 경우에, 단기간 내에 취득된 하천수 데이터에는 별 문제가 없었으나, 분석시차가 큰 하천퇴적물 경우에는 많은 성분(예: CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO, TiO<sub>2</sub>, As, Cd, Mo, Sr, W 등)이 조사단위(도폭경계) 간에 심한 데이터 단절현상을 보였다(Lee *et al.*, 1998). 이러한 현상은 오랜 분석기간 중에 데이터 집단들 간에 대조시료와 중복시료를 이용한 표준화와 수준 맞추기가 체계적으로 수행되지 않은 것에 기인한다고 파악된다. 이 사례는 매우 넓은 광역권역의 탐사에서 시료분석은 가능하면 짧은 기간 내에 동일한 조건을 바탕으로 실시되는 것이 매우 중요하다는 교훈을 각인시켜주었다.

따라서, 지금까지 취득된 기존 분석 데이터의 효용성에 대한 총체적인 검토가 필요하다. 기존 데이터는 어디까지 이용가능하고 어떤 것에 문제점이 내재되는가? 문제가 있는 데이터는 다시 취득할 필요가 있는지, 데이터 표준화와 수준 맞추기에 의한 보정은 가능한지, 복잡하고 복합적인 문제들이 있을 것으로 보인다. 향후 통합 데이터베이스 구축(4.2 참조)에 착수하게 되면, 데이터를 적재하기 전에 시료의 대표성과 분석데이터의 질적 우수성이 반드시 고려되어야 할 것이다.

만일 지표환경에 큰 변화가 예상되면, 이를 확인하기 위해 다시 현장을 방문해서 동일한 야외 및 분석 프로토콜을 이용해서 일정 시간간격을 두고 시료를 채취하여 분석할 필요가 있을 것이다. 신뢰성 보장을 위해 퇴적물과 토양은 10년 내지 25년 간격으로 다시 채취하여 결과를 비교하는 것이 바람직하다. 하천수의 모니터링에는 더 짧은 시료채취 간격이 필요하다.

##### 4.2 전국 지구화학 데이터베이스 설계

과거부터 수집돼온 야외정보와 분석결과는 대부분 종이형태의 연구보고서 또는 일부 전자파일형태로 전해져오고 있다. 그러나 표준양식에 기반하여 전산화된 데이터베이스는 아직까지 구축되지 못했다. 지금까지 국내 지구화학탐사에서의 야외정보 수

집방식은 전적으로 프로젝트별로 자율적이었고 일관된 기록양식은 없었다. 1980년대 우라늄 광역수계 탐사(P5)에서는 하천퇴적물 조성, 하천조건, 제방, 토지용도, 식생, 광화증거, 하천수 pH와 전도도, 지표방사능 등 주요 항목이 기록되었다. 전국 지구화학도 작성 프로젝트(P13; 1996-2003)에서는 자세한

야외기록양식(그림 1)을 제정하여 체계적인 정보수집이 이루어졌다. 2010년 이후 재개된 희토류/희유 원소탐사(P14, P15)에서도 유사한 양식이 적용되고 있다.

국내 지구화학탐사에서 가장 시급한 당면과제는 전국-규모의 지구화학 데이터베이스 구축이다. 지금

CARD D1	CODE	SAMPLE NUMBER	DUPLICATE SAMPLE NUMBER	MAP NAME	SCALE	SAMPLE TYPE	DATE			WEA	RAIN	RESEARCHERS																		
	1	2	3	6	7	10	12	15	17	19	21	23	25	27	28	30	33	35												
	YY	MM	DD	LONGITUDE (E)			LATITUDE (N)			UTM-EASTING			UTM-NORTHING																	
56	59	41	44	45	47	49	52	53	56	62	64																			
CARD D2	SITE LOCALITY COMMENTS																													
1	5	10	15	20	25	30	35																							
56	40	45	50	55	60	65	70																							
CARD D3	LAND USE			SITE GEOLOGY				CATCHMENT GEOLOGY				OBS HORIZ	MINERALIZATION			DRIFT TYPE														
1	4	7	11	14	18	21	25	27	28	29	30	32	33	34	35															
CARD D4	STREAM ORIGIN	OBS TYPE	CHS WIDTH	WAT LEVEL	BRNK TYPE	CLAST PPTs				SEDIMENT COLOR				SEDIMENT COMPOSITION				SEDIMENT SAMPLING				WATER COLOR			CONTAMINATION					
1	2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	31	32	33	34	35
CARD D5	SITE CONTAMINATION													STREAM WATER																
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	14	TEMP (°C)	18	pH	22	EC (in µS/cm@0.1m/Su)	26	Eh	30	DO	33	HCO3					
CARD D6	STREAM CLAST LITHOLOGY (Minerals, Abundance, Style, Weathering etc)																													
1	5	10	15	20	25	30	35																							
56	40	45	50	55	60	65	70																							
CARD D7	CONTAMINATION (Name/Address of Workplace, State of contamination etc)																													
1	5	10	15	20	25	30	35																							
56	40	45	50	55	60	65	70																							

Fig. 3. Drainage field cards to be recommended for national geochemical database.

CARD S1	CODE	SAMPLE NUMBER	DUPLICATE SAMPLE NUMBER	MAP NAME	SCALE	SAMP TYPE			DATE			WEA	RAIN	RESEARCHERS															
	1	2	3	6	7	10	11	14	16	17	18	19	21	23	25	27	28	30	33	35									
	YY	MM	DD	LONGITUDE (E)			LATITUDE (N)			UTM-EASTING			UTM-NORTHING																
56	59	41	44	45	47	49	52	54	57	63	64																		
CARD S2	SITE LOCALITY																												
1	5	10	15	20	25	30	35																						
56	40	45	50	55	60	65	70																						
CARD S3	LAND USE			SITE GEOLOGY				DRIFT TYPE		SLOPE	OBS BEDR X	MIN BEDR X	MIN TYPE	MIN CLAST	SITE CONTAMINATION														
1	4	7	10	13	15	17	18	19	20	21	23	25	25	25	30	35													
CARD S4	SOIL DATA																												
S SURFACE SOIL	DEPTH (m)		COLOR	TEX	MOIST	ORG	SOIL CLAST LITHOLOGY (Minerals, Abundance, Style, Weathering etc)																						
1	4	5	6	7	8	10	15	20	25	30	35																		
P PROFILE SOIL	DEPTH (m)		COLOR	TEX	MOIST	ORG	SOIL CLAST LITHOLOGY (Minerals, Abundance, Style, Weathering etc)																						
56	39	40	41	42	43	45	50	55	60	65	70																		
CARD S5	FIELD DATA (Minerals, Abundance, Form, Weathering etc)																												
1	5	10	15	20	25	30	35																						
56	40	45	50	55	60	65	70																						

Fig. 4. Soil field cards to be recommended for national geochemical database.



D1-15 & S1-14: MAP SCALE 1=1:50,000, 2=1:25,000, 3=1:5,000	D4-21: SAMPLING POSITION toward the upstream C=Center, L=Left side, R=Right side
D1-17 to -19: SAMPLE TYPE L=Stream sediment (Light minerals), H=Panned concentrates (Heavy minerals), W=Stream water	D4-22: DISTANCE RANGE 1=one point, 2=<10m, 3=<30m, 4=>40m
S1-16 to -19: SAMPLE TYPE GRID=Grid Sampling, SLOPE=Slope-soil Sampling, SURF=Surface Soil (Shallow), PROF=Profile Soil (Deep)	D4-23: NUMBER OF SUB-SAMPLES 1=one, 2=2-5, 3=6-10, 4=11-20
D1-27 & S1-27: WEATHER 1=Fine/Cloudy, 2=Rainy	D4-24: COLLECTED AMOUNT after sieving (in grams) 1=<50 g, 2=50-100 g, 3=100-200 g, 4=>200 g
D1-28 & S1-28: RAIN INFLUENCE 1=Heavy rain within 12 hours, 2=Heavy rain within 24 hours, 3=Heavy rain within 48 hours, 4=Heavy rain within 3 days to a week, 5=No rain within a week	D4-29: DEGREE OF SUSPENDED SOLIDS 1=Light, 2=Moderate, 3=Abundant
D3-01 to -09 & S3-01 to -06: LAND USE 110=FOREST, 111=Coniferous Forest, 112=Deciduous Forest, 113=Mixed Forest, 120=GRASS, 121=Weed/Bush, 122=Pasture 130=FARMLAND, 131=Rice Paddy, 132=Dry Field, 133=Orchard, 210=LIVESTOCK FARM, 211=Swinery, 212=Cowshed, 213=Poultry, 214=Duckery, 220=URBAN, 221=Village, 222=Houses, 223=Commercial, 224=Urban Open Space/Park, 225=Domestic Wastes, 230=NATIONAL/PROVINCIAL PARKS, 231=Arboretum, 232=Temple, 240=RECREATION GROUND/AMUSEMENT AREA, 250=INDUSTRIAL AREA, 251=Metals, 252=Electronics, 253=Chemicals, 254=Textile, 255=Food, 260=ABANDONED MINES, 261=Metal, 262=Non-metal, 263=Coal, 270=QUARRY, 271=Limestone, 272=Granite, 273=Aggregate, 280=ROAD, 281=Motor-roads, 282=Railway, 290=LANDFILL, 291=Dumping Ground, 292=Port area, 293=Airport	D4-34: UPSTREAM DIRECTION toward contamination source L=Left, R=Right
D3-11 to -16 & S3-07 to -12: ☆SITE GEOLOGY by "Rock Classification Scheme"	D4-35: DISTANCE TO contamination source 1=<100m, 2=100-200m, 3=200-500m, 4=>500m
D3-18 to 23: ☆CATCHMENT GEOLOGY by "Rock Classification Scheme"	D5-01 to -13 & S3-23 to -35: SITE CONTAMINATION A=Manufactured Metal, B=Farm Effluent, C=Domestic Effluent, D=Industrial Effluent, E=Ceramic/Glass, F=Chemicals, G=Agro-chemicals, H=Rubber/Plastic, I=Slag, J=Metal Mine Tailings, K=Coal Tailings, L=Non-metal Mine Drains, M=Stone/Aggregate
D3-25 & S3-18: OBSERVED BEDROCK OUTCROP within 100 m 0=None, 1=Minor, 2=Moderate, 3=Abundant, 4=All	S3-17: SLOPE 1=Hill top, 2=Gentle slope (<20°), 3=Steep slope (>20°), 4=Foot slope base of valley side, 5=Valley floor, 6=Level field, Flood plain, 7=Flatland
D3-27 & S3-19: MINERALIZATION IN BEDROCK Check with "✓" if interesting minerals are seen in bedrock. List ★minerals and describe abundance/weathering etc in "Field Data Comments".	S4-01 to -04 & S4-35 to -39: SOIL DEPTH depth (in meters) to base of sample
D3-28 & S3-20: MINERALIZATION TYPE IN BEDROCK 1=Vein, 2=Hydrothermal, 3=Skarn, 4=Disseminated, 5=Stratiform, 6=Lens, 7=Fault, 8=Joint or Fracture, 9=Staining or Coating	S4-05 & S4-40: SOIL COLOR 1=Black, 2=Dark Brown, 3=Light Brown, 4=Red, 5=Orange, 6=Yellow, 7=Grey, 8=Flesh tint
D3-29 & S3-21: MINERALIZATION IN CLASTS Check with "✓" if interesting minerals are seen in clasts. List ★minerals and describe abundance/mineralization type/ weathering etc in "Field Data Comments".	S4-06 & S4-41: SOIL TEXTURE 1=Sand, 2=Silt, 3=Clay, 4=Sandy clay, 5=Clayey sand, 6=Silty clay, 7=Sandy silt, 8=Silty sand
D3-30: MINERALS OBSERVED IN PAN Check with "✓" if interesting minerals are seen in panned concentrates. List ★minerals and describe abundance, form, weathering etc in "Field Data Comments".	S4-07 & S4-42: SOIL MOISTURE 1=Dry, 2=Damp, 3=Waterlogged
D3-32 to -35 & S3-13 to -16: DRIFT TYPE at site in adjacent and upstream areas 11=Alluvium, 12=Coarse Gravel, 21=Soil, 22=Marsh, 31=Clay with Gravels, 32=Scree, 41=Blown Sands, 42=Beach, 43=Estuarine, 51=Made Ground	☆ROCK CLASSIFICATION SCHEME (RCS) 100=IGNEOUS ROCKS, 110=Plutonic Rocks, 111=Granite, 112=Granodiorite, 113=Diorite, 114=Syenite, 115=Alkali-feldspar Granite, 116=Gabbro, 117=Anorthosite, 118=Hornblende, 119=Other Mafic/Ultramafic Plutonic Rocks, 120=Igneous-Origin Gneiss (Precambrian Plutonic Rocks), 121=Granite Gneiss, 122=Porphroblastic Gneiss, 123=Leucocratic Gneiss, 130=Hypabyssal Rocks, 131=Felsite/Feldspar Porphyry, 132=Quartz Porphyry, 133=Granophyre/Granite Porphyry, 134=Aplite, 135=Lamprophyre, 136=Porphyrite, 137=Other Porphyries, 140=Volcanic Rocks, 141=Rhyolite, 142=Dacite, 143=Andesite, 144=Trachyte, 145=Basalt, 146=Pearlite, 147=Pitchstone, 148=Pumice, 149=Agglomerate, 150=Tuff 200=SEDIMENTARY ROCKS, 210=Conglomerate, 220=Sandstones, 221=Pebbly Sandstone, 231=Siltstone, 232=Mudstone, 233=Shale, 234=Marl, 235=Chert, 241=Limestone, 242=Dolomite, 251=Coal Shale, 252=Coal 300=METAMORPHIC ROCKS, 310=Schists, 311=Muscovite Schist, 312=Chlorite Schist, 313=Biotite Schist, 314=Quartz-Mica Schist, 315=Hornblende Schist, 316=Garnet Schist, 320=Phyllite, 330=Slate, 340=Gneisses, 341=Granitic Gneiss, 342=Biotite Gneiss, 343=Hornblende Gneiss, 344=Banded Gneiss, 345=Augen Gneiss, 346=Migmatitic Gneiss, 351=Quartzite, 352=Marble, 353=Mylonite, 354=Amphibolite, 355=Serpentine, 356=Hornfels, 360=Meta-Volcanic Rocks, 370=Meta-Lime Silicate Rocks,
D4-01: STREAM ORDER 1=1st, 2=2nd, 3=3rd, 4=4th	★MINERAL ABBREVIATIONS A1=Arsenopyrite, B1=Barite, B2=Bornite, C1=Calcite, C2=Cassiterite, C3=Chalcopyrite, C4=Chromite, C5=Cinnabar, C6=Native Copper, C7=Coal/Anthracite, E1=Epidote, F1=Fluorite, G1=Galena, G2=Garnet, G3=Native Gold, H1=Hematite, I1=Imenite, M1=Magnetite, M2=Malachite, M3=Molybdenite, M4=Monazite, P1=Pyrite, P2=Pyrrhotite, Q1=Quartz, R1=Realgar, R2=Rutile, S1=Scheelite, S2=Sphalerite, S3=Stibnite, T1=Tourmaline, W1=Wolframite, Z1=Zircon
D4-02: DRAINAGE TYPE 1=Natural stream, 2=Ditch, 3=Artificial canal way, 4=Seepage/Spring, 5=Drains/Land drains	
D4-03: CHANNEL WIDTH 1=Small stream (<3m wide), 2=Stream (3-10m), 3=Small river (10-30m)	
D4-04: WATER LEVEL 0=Dry, 1=Ponded with dry sections, 2=Low level, 3=Moderate level (only boulders visible), 4=High level (large boulders visible), 5=Very high level (channel filled bank to bank), 6=Overflow (bank failure)	
D4-05: BANK NATURE 0=Natural, 1=Rock piles, 2=Concrete, 3=Soil	
D4-06 to -09: ABUNDANCE OF CLAST PRECIPITATES 1=Light, 2=Moderate, 3=Heavy	
D4-20: SIEVING MODE 1=Wet Sieving in-situ, 2=Wet Sieving at next site, 3=Dry Sieving	

Fig. 5. Codes on drainage ('D') and soil ('S') field cards for geochemical database.

부터라도 수집된 자료는 데이터베이스를 전제로 저장될 필요가 있다. 현재 취득완료된 전국토의 23,600개 소하천 집수분지에 대한 현장정보와 분석결과는 전국 데이터베이스의 골격을 갖추기에 충분하다. 여기에다 약 50년간에 걸쳐 취득된 다양한 시료매체(하천퇴적물, 중사, 하천수, 토양, 암석, 지하수, 광석, 광물찌꺼기 등)의 주성분/미량성분을 위시하여 방사성/안정동위원소에 대한 데이터는 큰 폴의 저장고에 함께 적재되어야 할 것이다. 참고로, 현재 시료매체별로 전국토 대비 면적 커버정도를 보면, 하천퇴적물(표사)은 98%(8개 도; 제주도 미조사), 하천수는 60%(1:25만 도폭 5매; 국토 북부와 서남부 미조사), 중사는 10%(주요 광화대 위주) 정도이다. 한편 토양 관련정보는 대부분 국지적인 준정밀-정밀탐사에서 취득된 기존자료에 국한된다. 전국-규모로 추진 중인 토양 지구화학도 작성 프로젝트에서 취득될 현장정보와 분석자료는 향후 토양 데이터베이스의 골격을 이룰 것이다.

그러나 장기간에 걸쳐 취득된 자료를 이용한 데이터베이스 구축은 간단하지만은 않다. 영국의 경우를 예로 들면, 하천퇴적물 광역탐사자료를 처음에는 1980년대 중반에 만들어진 ORACLE 프로젝트 데이터베이스에 저장하였으나, 대상시료가 탄 매체로 확대됨에 따라 데이터 관리에 어려움이 드러나, 영국지질조사소 주관으로 1992년에 새로운 데이터베이스가 설계되었고(Coats and Harris, 1995), 이후에는 다중-매체 시료채취 전략에 기반한 '환경 지구화학 기준치 조사 프로젝트(G-BASE)' 결과를 위시해서 광범위한 데이터를 수용해오고 있다(Johnson *et al.*, 2005).

데이터베이스 구축과정에서 하나의 데이터베이스 풀 운영에서 가장 유념해야 할 점은 오랜 기간에 걸쳐 수집된 분석 데이터의 품질문제이다. 데이터베이스 구축 시에는 환경규제의 요구사항들도 잘 수용되어야 한다. 또한 데이터베이스 구축 이후에는 정부에서 제정한 많은 환경보호 관련법률과 지침의 적용에 필요한 전략도 개발되어야 할 것이다.

향후 구축될 데이터베이스는 시료위치(표준좌표), 원소성분, 시료정보를 열과 행에다 나열한 단조로운 표 형식이어서는 안 될 것이다. 독특한 시료 식별자에 의해 링크된 많은 데이터 표와 '결합이 용이한 데이터베이스(relational database)'로 설계되어

야 할 것이다. 사용자들이 데이터의 한계성을 이해하고 결과가 목적에 부합하는지를 이해시켜 줄 수 있는 데이터 정밀도/정확도/검출한계 등 부가정보들도 포함되어야 할 것이다. 일단 정보가 충분히 수집되고 나면, 데이터 사용자가 접근하기에 가장 적합한 포맷으로 커다란 데이터 저장고를 만들어야 할 것이다. 개발되었거나 개발 중인 웹-기반 애플리케이션 같은 정보기술을 쉽게 이용할 수 있도록 하여, 사용자들에게 데이터가 쉽게 전달되게끔 설계할 필요가 있다. 지구화학 전공자 이외의 사용자들(예: 행정관리자 등)은 특정 성분이 법률이나 지침에 명시된 값보다 높은지 아니면 낮은지 여부에만 관심을 가질지 모르기 때문에, 구축될 데이터베이스는 그들이 사용가능한 방식의 패키지로 제작하여 이용가치를 높일 필요가 있다.

전국 지구화학도 작성 프로젝트(P13)에서 제정되었던 야외기록양식(그림 1)의 내용을 기반으로 향후 데이터베이스 전산화에 대비한 하천수계시료(하천퇴적물, 중사, 하천수)와 토양시료(지표, 심부)의 채취와 현장정보수집에 필요한 데이터 카드의 표준양식(그림 3, 4)을 제안한다. 데이터 카드의 각 항목별 작성지침은 별도로 자세하게 코드화해서 제시하였다(그림 5). 충분한 전문가 의견수렴과정을 거쳐 표준 기록양식이 확정되게 되면, 우리나라도 영국 경우(Johnson *et al.*, 2005)처럼 시료채취와 야외정보 수집 시에 지정 양식의 일관된 사용을 권장할 필요가 있다.

구축될 데이터베이스가 전국을 100% 커버하는 기본골격을 갖추기 위해서는 아직 미조사 지역으로 남아있는 제주도(~1,800 km<sup>2</sup>)에 대한 지구화학탐사가 선결될 필요가 있다. 육지지역에 적용했던 평균 시료채취밀도(3-3.5 km<sup>2</sup>당 1개)를 적용할 경우, 제주도 전역의 예상 시료수는 500-600개 정도로 추정되며, 시료채취와 야외정보수집, 시료분석, 전산처리와 통계, 지도 제작, 지도책 발간에 이르는 전과정에 약 1년 반 정도가 소요될 것으로 판단된다. 제주도는 한라산국립공원과 세계지질공원으로 특별한 관심이 집중되어 있는 특별구역이므로, 탐사목적 또한 자원탐사가 아닌 순수 목적의 지구화학 기준치 설정에 초점을 맞춰야 할 것이다. 제주도는 면적은 작아도, 육지지역과는 판이하게 다른 지질(대부분 신생대 제4기 화산암)은 특징적인 지구화학 기준치

를 제시할 것이다. 제주도는 자연보호가 철저하게 지켜져야 할 지역이므로 탐사 착수는 빠를수록 좋다.

#### 4.3 지구화학도 작성 국제동향분석과 우리나라의 대응방안

어느 나라에서나 국토 전역을 커버하는 지구화학도를 완성하기 위한 노력은 지속돼왔다. 면적이 대륙-수준으로 넓은 미국에서도 1960년대부터 저밀도 시료수집에 기반한 원소분포도가 발간되었고(Shacklette *et al.*, 1971), 1984년에는 약 6,000 km<sup>2</sup> 당 1개 지점 꼴로 약 1,300개 시료 조합에 대한 50종 원소의 지구화학도가 발간되었다(Shacklette and Boerngen, 1984). 1990년대 들어와 대륙-규모 및 저밀도 시료채취에 의한 지구화학도 작성에 관심이 높아지면서, 데이터 재처리를 거쳐 제작된 컬러지도는 매우 낮은 시료밀도인데도 예상 밖의 훌륭한 분포도로 평가되었다(Gustavsson *et al.*, 2001). 대륙-규모 및 전지구-규모의 지구화학도 작성의 필요성에 관한 토의는 전세계적으로 1980년대 초까지 광범위하게 진행되었다. 유럽에서는 서부유럽지질조사소(Western European Geological Surveys: WEGS)라는 기구에서 이 업무를 다루었다. 1984년 말 스웨덴 국제원자력기구(IAEA)의 원자로 우라늄탐사자회의그룹에서는 세계지구화학도의 개념에 관해 토의되었다. WEGS의 제안은 마침내 유럽지질조사소포럼(Forum of European Geological Surveys: FOREGS; Plant *et al.*, 1996)의 소속회원국으로 운영되는 유럽 지구화학조사로 발전하였다(참조: Bølviken *et al.*, 1996; Salminen *et al.*, 1998, 2005; De Vos *et al.*, 2006). 1988년 2월에는 IGCP-259 '국제 지구화학도 작성' 프로젝트가 시작되었고, 같은 해에 '전지구변화에 관한 국제 지권-생물권 계획(International Geosphere-Biosphere Program on Global Change: IGBP)'이 착수되어(IGBP, 1989) 세계적으로 진행되는 지구화학도 작성 활동의 포괄적 재검토와 국제적으로 일관된 지구화학도 작성에 필요한 권장안 준비에 주력하였다. 이를 계기로 우리나라에서도 전국-규모의 지구화학도 완성을 위한 계획에 착수하였다. 당시 상황으로는 자원탐사보다는 핵심 이슈로 부상한 환경평가를 위한 기준치 설정과 원소별 분포도를 전국을 대상으로 단기간 내에 완성하겠다는 제안서가 받아들여졌다. 과학기술부의 주요사업(Star Project)과 중점국가연구개발사업

의 하나로 안정적 예산지원에 힘입어 1996년 11월부터 2003년 3월까지 전국의 8개 도에 대한 지구화학도 작성이 성공적으로 이루어졌다.

한편 IGCP-259에서는 전세계 육상환경을 대표하는 지구화학 데이터 수집에 각국의 동참을 권장하였다. 보고서는 전세계의 약 5,000개 셀을 설정하여 하천퇴적물(표사), 토양(잔류토양), 암석 등으로 이루어진 한 세트의 복합시료를 채집하여 저밀도로 커버하는 방식이 제안되었다(UNESCO 보고서; Darnley *et al.*, 1995). 핀란드와 스웨덴에서는 주어진 49개 셀의 집수분지에 대해 범람퇴적물(overbank sediments) 시료의 유용성에 관한 조사가 실시되었으며(Eden and Björklund, 1994, 1996), 빙퇴석층 복합시료보다 토양 모물질이 우세한 범람퇴적물이 초저밀도 시료로 대표성을 갖는다는 결론에 이르렀다. 범람퇴적물은 홍수 중에 낮은 차수(1-2차)의 하천(stream)에 인접하여 집적된 세립질 층적퇴적물이다. 이와 달리 범람원퇴적물(floodplain sediments)은 홍수 중에 차수가 더 높은 큰 강(river)에 인접한 곳에 쌓인 세립질 층적퇴적물로 정의된다. 범람퇴적물은 작은 집수분지를 대표하여 전국-규모 지도 작성에 적합한 반면, 범람원퇴적물은 훨씬 더 큰 분지를 대표하고 대륙-규모 또는 지구-규모 지도 작성에 이용되며 1,000 km<sup>2</sup> 이상의 큰 면적(최대 6,000 km<sup>2</sup>)의 분지에서 채취되어야 한다(Darnley *et al.*, 1995). 물이 흐르는 소하천에서 하천퇴적물을 채취하는 것과 큰 강에 인접한 곳에서 범람원퇴적물을 채취하는 것이 상대적으로 어떤 장점을 갖는지는 계속해서 논쟁이 되었다(Ottesen *et al.*, 1989). 중국에서는 시간과 비용 면에서 효율적인 방식으로 범람원퇴적물을 이용해서 매우 넓은 지역에 대한 정보를 주는 지구화학도를 만들 수 있다는 사실이 입증된 바 있다(Xie and Cheng, 1997; Xie *et al.*, 1997).

국제 지구화학 네트워크 구축을 위해 우리나라에 주어진 셀은 6개이며, 북한까지 포함한 한반도에 대해서는 15개 안팎이다. 현재 우리나라는 국제적인 데이터 컴파일의 취지에는 공감하나, 구체적인 실행 계획은 수립되지 못한 실정이다. 국내 자연조건과 하천발달특성을 고려하여, 가장 대표성이 뛰어난 시료매체를 결정하고, 대표 셀을 구획하고, 시료채취 대상 집수분지의 규모와 위치를 결정하고, 한 세트의 복합시료를 조합하는 내용을 포함하는 구체적인

시료채취전략을 수립할 필요가 있다. 이런 일련의 과정은 간단하지만은 않을 것으로 예상된다. 우리나라처럼 전체면적이 작은 나라에서, 과연 이러한 개념으로 시료채취에 접근하는 것이 타당한 방법인지 근본적으로 신중하게 고려할 여지가 있다.

#### 4.4 다중-매체 접근전략의 재고

지구화학탐사에서 다중-매체 접근법은 지구화학적 작용에 관한 해석에 매우 위력적이다. 외국 사례를 보면, 매체 선정은 나라마다 자연조건에 따라 차별적인 조합으로 이루어지게 된다. 예컨대, 스칸디나비아 Nordkallot 프로젝트(Bølviken *et al.*, 1986; 빙퇴석, 하천퇴적물, 하천유기물, 하천이끼), 러시아 다목적 지구화학도 작성계획(Koval *et al.*, 1995; Burenkov *et al.*, 1999), Kola 프로젝트(Reimann *et al.*, 1998; 육상이끼, 토양 O-B-C 층준), 동부 Barents 지역 지구화학지도책(Salminen *et al.*, 2004; 이끼, 하천수, 유기질/무기질토양), 중국 다목적 지구화학도(Xi, 2007; 지표/심부토양, 호수퇴적물, 연안퇴적물, 하천수, 우물물).

우리나라 경우에는 과거 광역탐사에서 하천퇴적물(표사), 중사, 하천수가 주 매체로 이용돼왔다. 준정밀 내지 정밀탐사에서는 더 조밀한 간격의 하천수 계시료(하천퇴적물/중사/하천수)와 측선/사면토양 등이 이용되었다. 하천퇴적물-중사-하천수-토양을 한 세트로 조합한 체계적인 다중-매체 접근은 거의 적용되지 않았으나, 두세 종류의 복수-매체를 적용했던 사례는 자주 있었다(표 1). 광역 우라늄탐사(P5)에서는 하천퇴적물과 하천수를 동시에 이용하여 탐사효율을 높인 바 있다. 우리나라에서 다중-매체 접근법에 의한 대표적 탐사사례는 최근 재개된 희토류 탐사(P14)이다. 광역→준정밀→정밀단계로 이어진 탐사에서 하천퇴적물-중사와 토양(측면/사면/격자)을 이용한 다중-매체 접근전략에 의해 광화대 추적에 탁월한 효과가 입증된 바 있다. 즉 흥천지역에서는 기존 광화대 이외의 지역에서 새로운 희토류광체(최고 4.4% TREE), 충주지역에서는 새로운 희토류광체(최고 1.36% TREE)와 텅스텐광화대(평균 2.4% WO<sub>3</sub>)가 확인된 바 있다(Youm *et al.*, 2010, 2011, 2012).

그렇지만, 지구화학탐사에서 반드시 다중-매체로 접근하는 것이 최선은 아니다. 조사목적/예산규모/

사업기간 등 주어진 여건을 고려하여 한두 가지 시료매체만 이용하여도 소기의 탐사효과를 얻을 수도 있다. 단일-매체 접근법은 정보취득 면에서 제한적일 수 있지만, 전체 분석시료수와 분석소요시간이 줄어들어 일관된 분석조건에 의해 데이터 품질관리에 유리하고 시간을 단축할 수 있는 일면이 있다. 단일-매체 접근전략에 의한 단기간 탐사의 대표 사례는 전국 지구화학도 작성 프로젝트(P13)이다. 국제 지구화학도 작성(Darnley *et al.*, 1995)의 권장안에 기반하여 전국의 23,600개 수계의 하천퇴적물만을 이용하여 단기간 내에 완수하였다. 비록 지금까지 확보된 기존 지구화학 데이터가 다중-매체에 의해 완벽하게 커버된 복합정보는 아니라고 해도, 현시점에서 다중-매체 채취를 새삼스럽게 시도할 필요까지는 없다. 예산지원 소스 등을 고려하면, 기존 데이터를 중심으로 유용한 데이터베이스 구축부터 착수하는 것이 더 시급한 일로 판단된다.

## 5. 결 언

국내 지구화학탐사는 1990년대까지는 주로 자원 탐사에 주력하였으나, 1990년대부터는 환경평가관 리까지 병행하는 다목적으로 변천하였다. 탐사결과 의 표현수단으로서 지구화학도는 다양한 유형 변천 과 기술 진화를 거듭해왔으나, 반드시 최적화된 방 향으로만 진행돼온 것은 아니다. 이 논문에서 국내 주 요 지구화학도의 기술 진화에 대해 총체적으로 재 검토하고, 지구화학도 작성과 관련하여 잘못되었거 나 불가피하게 잘못될 수밖에 없었던 사실들을 자세 하게 진단한 이유는 향후 유사한 시행착오나 오류를 반복하기 않기 위함이다. 1990년대 이전의 대부분 지구화학도들에서 선호돼왔던 함량등급을 임의로 구분하는 방법은 데이터 구조의 표현과 관련 지구화 학 작용의 이해에 취약하므로 사용되지 말아야 한 다. 반면에 백분위수 등급구분에 의한 컬러 표면지 도와 박스플롯 등급구분에 의한 EDA 심불지도를 병행 사용하면 데이터 구조와 배후의 지구화학 작용 의 관계를 이해하는 데에 훨씬 효율적일 것이다. 매 우 넓은 지역을 대상으로 실시되는 장기탐사에서는 표준참고물질/중복시료/대조시료를 이용한 체계 적이고도 철저한 품질관리를 통해 큰 분석시차에 기 인한 데이터 집단들 간의 이질성 문제를 반드시 극

복해야한다. 더 늦기 전에 그동안 취득돼온 지구화학 데이터의 총체적 검토를 거쳐 데이터베이스 구축에 착수할 필요가 있다. 전국 23,600개 소하천 집수 분지에 대한 하천수계탐사 결과는 전국 데이터베이스 구축의 기본 골격을 이루기에 충분하다. 전국토 100% 커버를 위해 미조사 지역인 제주도의 탐사가 요망된다. 제안된 하천수계시료와 토양시료에 대한 야외기록 전산카드 양식의 보완을 통해 데이터베이스 구축작업에 착수할 것을 제안한다. 21세기에 들어와 대륙-규모와 전지구-규모의 지구화학 데이터 컴파일을 위한 세계적인 추세를 고려하여 우리나라도 이에 동참할 대응전략 수립이 필요하다. 자원탐색 목적의 지구화학탐사는 과거에도 그랬듯이 국제 자원시장의 동향에 따라 부침을 거듭할 것이 예상된다. 따라서, 국내 응용지구화학은 자원탐색과 환경평가관리 목적 외에, 대도시환경에서의 유해물질 추적과 맵핑을 위시한 미래 도전분야에서 새로운 역할이 요구된다.

사 사

국내 지구화학탐사는 1960년대 상공부, 1970-1990년대 동력자원부/과학기술처/국무총리실, 2000년대 지식경제부/과학기술부/미래창조과학부의 예산 지원에 지속적으로 의존해왔다. 이 논문은 미래창조과학부 연구사업인 '희유원소 광역 지구화학도 작성(2014)'의 일부 지원으로 이루어졌다. 논문심사를 맡아 유익한 코멘트를 해 주신 세 심사위원들께 감사 드린다.

REFERENCES

Ahn, H.-I. and Chon, H.-T., 1998, Hydrogeochemical characteristics of groundwater in the Asan and the Gurogu areas: multivariate statistical analysis. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 35, 554-567 (in Korean with English abstract).  
 Banks, D., Sæther, O.M., Ryghaug, P. and Reimann, C., 2001, Hydrochemical distribution patterns in stream waters; Trøndelag; Central Norway. *The Science of the Total Environment*, 267, 1-21.  
 BGS, 1987, Regional Geochemical Atlas: Great Glen. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham.

BGS, 1996, Regional Geochemistry of North-East England. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham.  
 Bølviken, B., Bergström, J., Björklund, A. *et al.*, 1986, Geochemical Atlas of Northern Fennoscandia. Scale 1:4,000,000. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden, Helsinki, Trondheim and Stockholm.  
 Bølviken, B., Bogen, J., Demetriades, A. *et al.*, 1996, Regional geochemical mapping of Western Europe towards the year 2000. *Journal of Geochemical Exploration*, 56, 141-166.  
 Burenkov, E.K., Golovin, A.A., Morozova, I.A. and Filatov, E.I., 1999, Multi-purpose geochemical mapping (1:1,000,000) as a basis for the integrated assessment of natural resources and ecological problems. *Journal of Geochemical Exploration*, 66, 159-172.  
 Chae, B.-G., Kim, G.-S., Kim, J.-G. *et al.*, 2012, Development of control technology of geoenvironmental hazards propagation induced by mining activity. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Research Report, GP2-12-022-2012(1), 375 p (in Korean with English summary).  
 Choi, H.-I., Oh, J.-H., Shin, S.-C. and Yang, M.-Y., 1980, Geology and geochemistry of the Gyeongsang strata in Ulsan area. Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, KIGAM Bulletin, 20, 33 p (in Korean with English abstract).  
 Choi, H.-I., Son, J.-D., Oh, J.-H., Choi, Y.-J., Yun, H.-S., Shin, S.-C. *et al.*, 1982, Geological, geochemical and geophysical studies on the Gyeongsang Supergroup in the Euseong area. Korea Institute of Energy and Resources, KIER Bulletin, 28 (in Korean with English abstract).  
 Chon, H.-T. and Ahn, J.-S., 1996, A study on the pollution of heavy metals in soils and dusts in satellite cities of the Seoul capital area. *Economic and Environmental Geology*, 29, 87-100 (in Korean with English abstract).  
 Coats, J.S. and Harris, J.R., 1995, Database design in geochemistry: BGS experience. In: Giles, J.R.A. (ed.) *Geological Data Management. Special Publication. Geological Society, London*, 25-32.  
 Darnley, A.G., Björklund, A., Bølviken, B., Gustavson, N., Koval, P.V., Plant, J.A., Steinfeld, A., Tauchid, M. and Xie, X., 1995, A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management - Recommendations for International Geochemical Mapping: Final Report of IGCP Project 259, Earth Sciences 19, UNESCO Publishing, 122 p.  
 De Vos, W., Tarvanien, T. *et al.*, 2006, Geochemical Atlas of Europe. Part 2 - Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications. Geological Survey of Finland, Espoo.

- Eden, P. and Björklund, A., 1994, Ultra-low density sampling of overbank sediment in Fennoscandia. *Journal of Geochemical Exploration*, 51, 265-289.
- Eden, P. and Björklund, A., 1996, Applicability of overbank sampling for environmental assessment according to wide spaced sampling in Fennoscandia. *Applied Geochemistry*, 11, 271-276.
- Gustavsson, N., Bølviken, B., Smith, D.B. and Severson, R.C., 2001, Geochemical Landscapes of the Conterminous United States - New Map Presentations for 22 Elements. US Geological Survey Professional Paper, 1648.
- Hawkes, H.E. and Webb, J.S., 1962, *Geochemistry in Mineral Exploration*. Harper & Row, New York.
- Heo, G.-W., Hong, N.-E. and Kim, M.-S., 1971, Geochemical reconnaissance in the Youngsan-Masan sheet. Geological Survey of Korea. Report of Geophysical Exploration, 5-1 (in Korean).
- Heo, G.-W., Hong, N.-E. and Kim, M.-S., 1972, Geochemical reconnaissance in the Jangseong quadrangle. Geological Survey of Korea, Report of Geophysical Exploration, 6-1 (in Korean).
- Heo, G.-W., Kim, Y.-S. and Kim, S.-J., 1970, Geochemical reconnaissance in the Hyundong sheet. Geological Survey of Korea. Report of Geophysical Exploration, 4-1 (in Korean).
- Heo, G.-W. and Lee, W.-T., 1973, Reconnaissance geochemical prospecting in Chun Yang area. Geological Survey of Korea. Report on Geological and Mineral Exploration, 1-2 (in Korean).
- Hong, Y.-K. and Moon, K.-J., 1989, Geochemical Maps for Imgye Sheet in the Taebaegsan Mineralized Belt. Korea Institute of Energy and Resources, KR-89-2A-3, 76 p.
- Hong, Y.-K. and Moon, K.-J., 1991, Geochemical Map for Samchok Sheet in the Taebaegsan Mineralized Belt. Korea Institute of Energy and Resources, KR-90-2A (in Korean with English abstract).
- IGBP, 1989, The International Geosphere-Biosphere Programme; a study of global change (IGBP). A report from the first meeting of the Scientific Advisory Council for the IGBP, 7.1. IGBP Secretariat, Stockholm.
- Jin, M.-S., 1974, Geochemical survey in Masan-Janhae area. Geological and Mineral Institute of Korea, Report of Geological and Mineral Exploration, 2-2 (in Korean).
- Jin, M.-S., Kim, S.-Y., Lee, J.-S., Kim, S.-J., Cho, J.-D., Choi, J.-H. and Bang, G.-Y., 1981, Geochemical and geophysical exploration on the Chang-gi molybdenum deposits near Busan City. Korea Institute of Energy and Resources, Report on Geoscience and Mineral Resources, 12 (in Korean with English abstract).
- Jin, M.-S., Lee, J.-S., Chi, S.-J., Seo, H.-J., Kim, S.-Y., Kim, S.-J. and Shin, S.-C., 1992, Petrological and geochemical studies on the geothermal energy of the hot dry rock in South Korea (III). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KR-92-(T)-23 (in Korean with English summary).
- Jin, M.-S., Lee, J.-S., Kim, S.-J. and Kim, T.-K., 1995, Regional Geochemistry of the Jecheon Sheet. Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KR-94-(C)1-2, 110 p (in Korean with English abstract).
- Jin, M.-S., Lee, J.-S., Kim, S.-J. and Lee, C.-Y., 1983, Geochemical Maps for Ho-Myeong Sheet in the Taebaegsan Mineralized Belt. Korea Institute of Energy and Resources, 21 p.
- Jin, M.-S., Seo, H.-J., Kim, S.-J., Lee, J.-S., Shin, S.-C., Chi, S.-J. and Kim, T.-K., 1990, Petrological and geochemical studies on the geothermal energy of the hot dry rock in South Korea. Korea Institute of Energy and Resources, KR-90-(T), 204 p (in Korean with English summary).
- Jin, M.-S., Seo, H.-J., Lee, J.-S., Chi, S.-J., Kim, S.-J., Kim, T.-K. and Shin, S.-C., 1991, Petrological and geochemical studies on the geothermal energy of the hot dry rock in South Korea (II). Korea Institute of Energy and Resources, KR-91-(T)-22, 168 p (in Korean with English summary).
- Jin, M.-S., Shin, S.-C., Kim, T.-K., Yun, H.-S. and Seo, H.-J., 1985, Regional geochemical exploration for uranium in the northwestern part of the Yongyang sub-basin. Korea Institute of Energy and Resources, Research Report-85-3 (in Korean with English abstract).
- Johnson, C.C., Breward, N., Ander, E.L. and Ault, L., 2005, G-BASE: baseline geochemical mapping of Great Britain and Northern Ireland. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 5, 347-357.
- Kim, M.-S., 1975, Geochemical survey of Jain area. Geological and Mineral Institute of Korea, Report of Geological and Mineral Exploration, 3-1 (in Korean).
- Kim, M.-Y., Kim, T.-K., Shin, S.-C. and Seo, H.-J., 1983a, Regional geochemical exploration for airborne uranium anomaly in northern Yongduri. Korea Institute of Energy and Resources, 82-Nuclear Fuel Resources-1-08 (in Korean with English abstract).
- Kim, M.-Y., Shin, S.-C., Kim, T.-K. and Kim, S.-J., 1983b, Regional geochemical exploration for uranium in the Sebyeokri Sheet. Korea Institute of Energy and Resources, 82-Nuclear Fuel Resources-1-08 (in Korean with English abstract).
- Kim, M.-Y., Shin, S.-C., Kim, T.-K., Kim, S.-J. and Seo, H.-J., 1982a, Geochemical reconnaissance survey for

- uranium in the Cheongpyeong and Gangchon areas. Korea Institute of Energy and Resources, KIGAM Miscellaneous Report, 13 (in Korean with English abstract).
- Kim, M.-Y., Shin, S.-C., Kim, T.-K., Kim, S.-J. and Seo, H.-J., 1982b, Geochemical reconnaissance survey for uranium in the Homyeong Sheet. Korea Institute of Energy and Resources, KIGAM Miscellaneous Report, 13 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-Y., Jin, M.-S., Lee, C.-Y., Kim, Y.-K., Lee, J.-S., Kim, S.-J. *et al.*, 1979, On the study of geology, geochemical and geophysical exploration for the Go-heung copper deposit. Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, KIGAM Bulletin, 4 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-Y., Jin, M.-S., Lee, J.-S., Kim, S.-J. *et al.*, 1982, Geochemical and geophysical exploration of Pb-Zn bearing breccia pipe deposits in Jangheung area. Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, KIGAM Bulletin, 29 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-Y., Lee, C.-Y., Lee, J.-S. and Kim, S.-J., 1977, Report on geochemical prospecting in the Okbang and Obongsan areas of the Gyeongsang mineralization belt. Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, Report on Geoscience and Mineral Resources, 2 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-Y., Lee, J.-Y. and On, J.-C., 1971, Reconnaissance geochemical prospecting in Yuchun-Milyang area. Geological Survey of Korea. Report of Geophysical Exploration, 5-1 (in Korean).
- Kim, S.-Y., Moon, K.-J. and Hong, Y.-K., 1986, Geochemical Maps for Gosari Sheet in the Taebaegsan Mineralized Belt. Korea Institute of Energy and Resources, KR-86-2-24, 16 p.
- Kim, S.-Y., Moon, K.-J. and Hong, Y.-K., 1988a, Report on geochemical prospecting for mineral resources in the Moorengri area of the Taebaeg mineralized belt. Korea Institute of Energy and Resources, KR-87-12 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-Y., Moon, K.-J. and Hong, Y.-K., 1988b, Report on geochemical prospecting for mineral resources in the Pungkok area of the Taebaegsan mineralized belt. Institute of Energy and Resources, KR-87-12 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-Y., Moon, K.-J., Hong, Y.-K. and Kim, S.-J., 1986, Report on geochemical prospecting for mineral resources in the Dongwon mine of the Taebaegsan mineralized belt. Korea Institute of Energy and Resources, Research Service Report (in Korean).
- Kim, S.-Y., Moon, K.-J., Hong, Y.-K. and Lee, J.-S., 1985b, Geochemical Maps for Jangseong Quadrangle Sheet in the Taebaegsan Mineralized Belt. Korea Institute of Energy and Resources, KR-86-23, 22 p.
- Kim, S.-Y., Moon, K.-J., Hong, Y.-K., Lee, J.-S. and Lee, C.-Y., 1985a, Geochemical Maps for Yemi Sheet in the Taebaegsan Mineralized Belt. Korea Institute of Energy and Resources, Research Report 85-27, 26 p (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-Y., Shin, S.-C., Kim, T.-K. and Seo, H.-J., 1984, Geochemical exploration for uranium in northern Hyeondong and northern Yangpyeong areas. Korea Institute of Energy and Resources, 83-Nuclear Fuel Resources-1-02 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-Y., Yun, H.-S., Moon, C., Shin, S.-C. and Yang, M.-Y., 1978, Report on geochemical prospecting in Gyeongsang sedimentary basin. Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, Report on Geoscience and Mineral Resources, 4 (in Korean with English abstract).
- Kim, T.-K., Kim, M.-Y., Shin, S.-C. and Kim, S.-J., 1983a, Regional geochemical exploration for carborne uranium anomaly near Yangsuri. Korea Institute of Energy and Resources, 82-Nuclear Fuel Resources-1-08 (in Korean with English abstract).
- Kim, T.-K., Kim, M.-Y., Shin, S.-C. and Kim, S.-J., 1983b, Regional geochemical exploration for uranium in northern Uljin area. Korea Institute of Energy and Resources, 82-Nuclear Fuel Resources-1-08 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.-K., 1977, Reconnaissance geochemical prospecting in Imgye, Jeongseon area by stream sediments. Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, Report on Geoscience and Mineral Resources, 1 (in Korean with English abstract).
- Koval, P.V., Burenkov, E. and Golovin, A.A., 1995, Introduction to the program "Multipurpose Geochemical Mapping of Russia." Journal of Geochemical Exploration, 55, 115-123.
- Kürzl, H., 1988, Exploratory data analysis: recent advances for the interpretation of geochemical data. Journal of Geochemical Exploration, 30, 309-322.
- Lee, J.-S., Hong, Y.-K., Kim, S.-Y., Yun, H.-S., Jin, M.-S. and Lee, C.-Y., 1984, Geochemical Maps for Ogdong Sheet in the Taebaegsan Mineralized Belt. Korea Institute of Energy and Resources, 35 p.
- Lee, J.-S., Jin, M.-S., Kim, S.-Y., Kim, S.-J., Cho, J.-D., Choi, J.-H. and Bang, G.-Y., 1981, Geochemical and geophysical exploration over the Baegpo zinc-bismuth deposits in Dolsan Island, Jeonranam-do. Korea Institute of Energy and Resources, Report on Geoscience and Mineral Resources, 12 (in Korean with English abstract).

- Lee, J.-S., Jin, M.-S., Kim, S.-Y., Kim, T.-K. and Kim, S.-J., 1980, Geochemical study of the altered rhyolitic tuff pit in Hwacheon area, Gyeongsangnam-do. Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, Report on Geoscience and Mineral Resources, 8 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-S., Jin, M.-S., Kim, T.-K., Koh, K.-S. and Kim, J.-G., 2003, Regional hydrogeochemical mapping of the northern Gwangju sheet (1:250,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, KR-03(C)-03 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-S., Jin, M.-S., Shin, S.-C., Chi, S.-J., Kim, H.-C., Youm, B.-W. and Hwang, I.-H., 2001, Regional hydrogeochemical mapping of the northern part of Andong and Seoul sheet (1:250,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 1999-R-T102-P-05, 242 p (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-S., Jin, M.-S., Shin, S.-C., Kim, T.-K., Chi, S.-J. and Koh, G.-S., 2002, Geochemical mapping (1:250,000; Daejeon Sheet). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, KR-02(C)-02, 219 p (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-S. and Seo, H.-J., 1997, Geochemical mapping of Hyeonri, Bongpyeong, Yeongog and Doam sheets (1:50,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KIGAM Research Report, KR-97(C)-14, 114 p (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-S., Seo, H.-J. and Hwang, I.-H., 1998, Regional geochemical mapping of the Kangneung sheet (1:250,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Research Report, KR-98(C)-02, 147 p (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-S., Seo, H.-J., Kim, S.-Y., Kim, T.-K. and Jin, M.-S., 1989, Computer program for processing of geochemical data. Korea Institute of Energy and Resources, Research Report, KR-89-(B)-24, 82 p (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-S., Seo, H.-J., Shin, S.-C., Chi, S.-J. and Kim, S.-J., 1995, Geochemical mapping of Anheung, Wonju and Eomjeong sheets (1:50,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KR-95-(C)-3, 128 p (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-S., Seo, H.-J., Shin, S.-C., Chi, S.-J. and Kim, Y.-S., 1997, Geochemical mapping of Hongcheon, Cheong-il, Naepyeong and Eoron sheets (1:50,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KR-96-(C)-3, 139 p (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-S., Yun, H.-S., Jin, M.-S., Kim, S.-J. and Lee, C.-Y., 1983, Geochemical Maps for Seobyeg Sheet in the Taebaegsan Mineralized Belt. Korea Institute of Energy and Resources, 32 p.
- Lee, J.-Y. and Kim, Y.-S., 1974, Reconnaissance geochemical prospecting in Goe-san area. Geological and Mineral Institute of Korea, Geology and Ore Deposit, 27 (in Korean).
- Lee, J.-Y., On, J.-C. and Lee, W.-T., 1972, The detailed geochemical survey in the Yucheon and Milyang area. Geological Survey of Korea. Report of Geophysical Exploration, 6-1 (in Korean).
- Lee, P.-K., Kang, M.-J., Lee, W.-J., Park, S.-W., Youm, S.-J. *et al.*, 2006, Assessment of heavy metal hazards in mineralization zones and natural attenuation technologies of heavy metal. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, OAA2004030-2006(3), 276 p (in Korean with English abstract).
- Lee, P.-K., Shin, S.-C., Hong, Y.-K., Park, S.-W., Cheong, Y.-W., Youm, S.-J. *et al.*, 2004, Assessment of heavy metal hazards in mineralization zones and natural attenuation technologies of heavy metal. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, M1-0324-00-0009-03-B31-00-030-00, 331 p (in Korean with English abstract).
- Lee, P.-K., Youm, S.-J., Park, S.-W., Han, J.-G., Hong, Y.-K. *et al.*, 2005, Assessment of heavy metal hazards in mineralization zones and natural attenuation technologies of heavy metal. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, OAA2004030-2005(2), 368 p (in Korean with English abstract).
- Lee, P.-K., Youm, S.-J., Shin, S.-C., Park, S.-W., Kang, M.-J. and Moon, S.-W., 2007, Geochemical Atlas of Korea: Series 9. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 68 p (in Korean).
- Lee, W.-T., 1974, Geochemical exploration in the Chun Yang sheet. Geol. Min. Geological and Mineral Institute of Korea, Report of Geological and Mineral Exploration, 2-2 (in Korean).
- Moon, K.-J. and Hong, Y.-K., 1990, Study on a detailed geochemical exploration in the Jangchangdong valley: near the Dongmyeong mine. Korea Institute of Energy and Resources, KR-89-2A-2 (in Korean with English abstract).
- Moon, K.-J. and Hong, Y.-K., 1991, Geochemical exploration in the Mireuk Island. Korea Institute of Energy and Resources, KR-90-2A (in Korean with English abstract).
- Moon, K.-J., Hong, Y.-K. and Kim, S.-Y., 1989a, Geochemical exploration in potential sites around the Nahkcheon mine. Korea Institute of Energy and Resources, KR-88-2A-2 (in Korean with English abstract).
- Moon, K.-J., Hong, Y.-K. and Kim, S.-Y., 1989b, Report on detailed geochemical prospecting for mineral resources in the southern part of the Dong Nam iron-mine



- of the Taebaeg mineralized belt. Korea Institute of Energy and Resources, KR-88-2A-2 (in Korean with English abstract).
- On, J.-C., Lee, W.-T. and Lee, J.-Y., 1972, Reconnaissance geochemical prospecting in Gyeongsan quadrangle. Geological Survey of Korea. Report of Geophysical Exploration, 6-1 (in Korean).
- O'onnor, P. J., Reimann, C. and Kürzl, H., 1988, An application of exploratory data analysis techniques to stream sediment surveys for gold and associated elements in County Donegal, Ireland. In: MacDonald, D.R. and Mills, K.A. (eds.) *Prospecting in Areas of Glaciated Terrain* 1988. The Canadian Institute of Mining and Metallurgy, 449-467.
- Ottesen, R.T., Bogen, J., Bølviken, B. and Volden, T., 1989, Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 32, 257-277.
- Park, E.-Y., Kim, Y.-S. and Cho, J.-S., 1971a, Geochemical exploration in the Hwanggang-ri sheet. Geological Survey of Korea. Report of Geophysical Exploration, 5-1 (in Korean).
- Park, E.-Y., Kim, Y.-S. and Cho, J.-S., 1971b, Geochemical exploration in the Jangsung sheet. Geological Survey of Korea. Report of Geophysical Exploration, 5-1 (in Korean).
- Park, J.-K., Kim, Y.-S. and Cho, J.-S., 1972, Geochemical exploration on Boksu and Kombawi-Gyo-ri area. Geological Survey of Korea, Report on Geophysical Exploration, 6-1 (in Korean).
- Park, N.-Y., Hwang, D.-H., Seo, J.-R., Kim, S.-G., Choi, J.-H., Seong, N.-H., Kim, S.-Y., Jin, M.-S., Lee, J.-S., Kim, T.-K. and Kim, S.-J., 1980, Geology-ore deposits investigation and geophysical-geochemical exploration of Samdong molybdenum mine area. Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, KIGAM Bulletin, 13 (in Korean with English abstract).
- Park, S.-W., Choi, Y.-S., Youm, S.-J., Min, J.-S., Lee, J.-H., Hong, Y.-K., Lee, P.-K., Shin, S.-C., Kim, H.-S., Yeon, G.-H. and Lee, U.-J., 2005, Investigation of general situations of soil contamination in abandoned metal mines (Gyeonggi-do, Gangwon-do, Jeollanam-do and Jeollabuk-do). Ministry of Environment, Final Report, 1967 p (in Korean).
- Plant, J.A., Klaver, G., Locutura, J., Salminen, R., Vrana, K. and Fordyce, F.M., 1996, Forum of European Geological Surveys (FOREGS) Geochemistry Task Group 1994-1996 Report. Geological Survey Technical Report WP/95/14, Applied Geochemistry Series, 52 p.
- Reedman, A.J., Fletcher, C.J.N., Evans, R.B., Workman, D.R., Yoon, K.-S., Yoo, H.-S., Jeong, S.-U. and Park, J.-N., 1973, Geological, geophysical and geochemical investigations in the Hwanggangni area, Chungchongpukdo. Geological and Mineral Institute of Korea, Report of Geological and Mineral Exploration, 1-2.
- Reimann, C., 2005, Sub-continental scale geochemical mapping: sampling, quality control and data analysis issues. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 5, 311-323.
- Reimann, C., Åyräs, M., Chekushin, V., Bogatyrev, I., Boyd, R., de Caritat, P. *et al.*, 1998, Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region. NGU-GTK-CKE Special Publication. Geological Survey of Norway, Trondheim, Norway.
- Reimann, C. and Filzmoser, P., 2000, Normal and log-normal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. *Environmental Geology*, 39/9, 1001-1014.
- Reimann, C., Filzmoser, P. and Garrett, R.G., 2005, Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *The Science of the Total Environment*, 346, 1-16.
- Reimann, C. and Garrett, R.G., 2005, Geochemical background - concept and reality. *The Science of the Total Environment*, 350, 12-27.
- Reimann, C., Kashulina, G., Caritat, P. de. and Niskavaara, H., 2001, Multi-element, multi-medium regional geochemistry in the European Arctic: element concentration, variation and correlation. *Applied Geochemistry*, 16, 759-780.
- Salminen, R., Batista, M.J., Bidovec, M. *et al.*, 2005, Geochemical Atlas of Europe. Part 1 - Background Information, Methodology and Maps. Geological Survey of Finland, Espoo.
- Salminen, R., Chekushin, V., Tenhola, M. *et al.*, 2004, Geochemical Atlas of Eastern Barents Region. Elsevier, Amsterdam.
- Salminen, R. and Tarvainen, T., 1997, The problem of defining geochemical baselines. A case study of selected elements and geological materials in Finland. *Journal of Geochemical Exploration*, 60, 91-98.
- Salminen, R., Tarvainen, T., Demetriades, A. *et al.*, 1998, FOREGS Geochemical Mapping Field Manual. Guide, 47. Geological Survey of Finland, Espoo.
- Seo, H.-J., Cho, J.-S., Hong, N.-E. and Lee, J.-Y., 1970, Geochemical reconnaissance in the Hwanggang-ri sheet. Geological Survey of Korea, Report of Geophysical Exploration, 4-1 (in Korean).
- Seo, H.-J., Kim, S.-J., Lee, J.-S., Kim, T.-K. and Choi, S.-H., 1994, Reconnaissance geochemical mapping on the Chukbyeon-Maewon sheets. Korea Institute of

- Geology, Mining and Materials, KR-93-1A-2, 87 p (in Korean with English abstract).
- Seo, H.-J. and Kim, T.-K., 1987, Reconnaissance geochemical exploration in the Muju-Yongdong region. Korea Institute of Energy and Resources, KR-86-2-4 (in Korean with English abstract).
- Seo, H.-J. and Kim, T.-K., 1988, Reconnaissance geochemical exploration in the Sulchon-Muju-Youngdong region. Korea Institute of Energy and Resources, KR-87-8 (in Korean with English abstract).
- Seo, H.-J. and Kim, T.-K., 1989, Reconnaissance geochemical exploration in the Kongju-Cheongyang region. Korea Institute of Energy and Resources, KR-88-2D-1 (in Korean with English abstract).
- Seo, H.-J. and Lee, J.-S., 1993, Study on geochemical reconnaissance map of the Jeongseon sheet. Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KR-92-1A-2 (in Korean with English abstract).
- Seo, H.-J., Lee, J.-S. and Kim, T.-K., 1990, Reconnaissance geochemical exploration in the Yeongchun sheet. Korea Institute of Energy and Resources, KR-89-2D-1 (in Korean with English abstract).
- Seo, H.-J., Lee, J.-S. and Kim, T.-K., 1991, Reconnaissance geochemical exploration of the Yeongwol Sheet. Korea Institute of Energy and Resources, KR-90-2E, 57-131 (in Korean with English abstract).
- Seo, H.-J., Lee, J.-S. and Kim, T.-K., 1992, Study on regional geochemical map of the Pyeongchang sheet. Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KR-91-2E, 55-133 (in Korean with English abstract).
- Seo, H.-J., Shin, S.-C., Yun, H.-S. and Kim, T.-K., 1986, Geochemical exploration for uranium in the Chonju-Jinan area. Korea Institute of Energy and Resources, KR-86-3 (in Korean with English abstract).
- Shacklette, H.T. and Boerngen, J.G., 1984, Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. US Geological Survey Professional Paper, 1270. US Geological Survey, Denver, USA.
- Shacklette, H.T., Hamilton, J.C., Boerngen, J.G. and Bowles, J.M., 1971, Element composition of surficial materials of the conterminous United States. US Geological Survey Professional Paper, 574-D.
- Shin, S.-C., Hwang, S.-K., Youm, S.-J., Lee, P.-K., Park, S.-W. *et al.*, 2001a, Geochemical Atlas of Gyeonggi Province, Korea: Geochemical Atlas of Korea (1:700,000), Series 1. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 78 p (in Korean).
- Shin, S.-C., Hwang, S.-K., Youm, S.-J., Lee, P.-K., Park, S.-W. *et al.*, 2001b, Geochemical Atlas of Northern Chungcheong Province, Korea: Geochemical Atlas of Korea (1:700,000), Series 2. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 82 p (in Korean).
- Shin, S.-C., Hwang, S.-K., Youm, S.-J., Lee, P.-K., Park, S.-W. *et al.*, 2001c, Geochemical Atlas of Southern Chungcheong Province, Korea: Geochemical Atlas of Korea (1:700,000), Series 3. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 79 p (in Korean).
- Shin, S.-C., Hwang, S.-K., Youm, S.-J., Lee, P.-K., Park, S.-W. *et al.*, 2001d, Geochemical Atlas of Northern Jeolla Province, Korea: Geochemical Atlas of Korea (1:700,000), Series 4. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 79 p (in Korean).
- Shin, S.-C., Hwang, S.-K., Youm, S.-J., Lee, P.-K., Park, S.-W. *et al.*, 2001e, Geochemical Atlas of Southern Jeolla Province, Korea: Geochemical Atlas of Korea (1:700,000), Series 5. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 76 p (in Korean).
- Shin, S.-C., Kim, M.-Y., Kim, T.-K. and Seo, H.-J., 1983a, Regional geochemical exploration for airborne uranium anomaly in northern Jecheon. Korea Institute of Energy and Resources, 82-Nuclear Fuel Resources-1-08 (in Korean with English abstract).
- Shin, S.-C., Kim, M.-Y., Kim, T.-K. and Seo, H.-J., 1983b, Regional geochemical exploration for uranium near Dongjeom uranium occurrence. Korea Institute of Energy and Resources, 82-Nuclear Fuel Resources-1-08 (in Korean with English abstract).
- Shin, S.-C., Lee, P.-K., Jin, M.-S., Hong, Y.-K., Park, S.-W. *et al.*, 2000a, National geochemical mapping for natural environment. Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Research Report, N2-03-01-A-04, 272 p (in Korean).
- Shin, S.-C., Lee, P.-K., Park, S.-W., Hong, Y.-K. *et al.*, 2000b, National geochemical mapping for natural environment. Appendix: Investigation of actual conditions of contamination in abandoned metal mines in Korea (Gyeonggi-do, Chungcheongnam-do, Chungcheongbuk-do, Jeollanam-do and Jeollabuk-do). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Research Report, N2-03-01-A-04, 339 p (in Korean).
- Shin, S.-C., Lee, P.-K., Park, S.-W., Youm, S.-J., Jin, M.-S. *et al.*, 2003, National baseline mapping for geochemical hazard assessment. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Research Report, 00-J-ND-01-B-17, 223 p (in Korean with English abstract).
- Shin, S.-C., Youm, S.-J., Lee, P.-K., Park, S.-W. *et al.*, 2007a, Geochemical Atlas of Gyeongsangnam-do, Korea: Geochemical Atlas of Korea (1:700,000), Series 6. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 85 p (in Korean).
- Shin, S.-C., Youm, S.-J., Lee, P.-K., Park, S.-W. *et al.*,

- 2007b, Geochemical Atlas of Gyeongsangbuk-do, Korea: Geochemical Atlas of Korea (1:700,000), Series 7. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 85 p (in Korean).
- Shin, S.-C., Youm, S.-J., Lee, P.-K., Park, S.-W. *et al.*, 2007c, Geochemical Atlas of Gangwon-do, Korea: Geochemical Atlas of Korea (1:700,000), Series 8. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 82 p (in Korean).
- Smyth, D., 2007, Methods used in the Tellus Geochemical Mapping of Northern Ireland. British Geological Survey Open Report, OR/07/022, 90 p.
- Son, J.-D., Yun, H.-S., Kim, H.-R., Ko, M.-J., Cho, D.-H., Koo, J.-H. and Kim, S.-G., 1980, Geology, geochemical and geophysical exploration for the Cretaceous strata containing oily shale in Haenam and Mogpo area. Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, KIGAM Bulletin, 21 (in Korean with English abstract).
- Tukey, J.W., 1977, Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley, Reading, USA.
- Um, S.-H., Choi, H.-I., Son, J.-D., Oh, J.-H., Kwak, Y.-H., Shin, S.-C. and Yun, H.-S., 1983, Geological and geochemical studies on the Gyeongsang Supergroup in the Gyeongsang Basin. Korea Institute of Energy and Resources, KIER Bulletin, 36, 124 p (in Korean with English abstract).
- Velleman, P.F. and Hoaglin, D.C., 1981, Applications, Basics and Computing of Exploratory Data Analysis. Duxbury Press, Boston, USA.
- Xi, X., 2007, Multi-purpose mapping, a new trend for applied geochemistry in the 21st Century. Geophysical and Geochemical Exploration, 24, 7-15 (in Chinese).
- Xie, X. and Cheng, H., 1997, The suitability of floodplain sediment as a global sampling medium: evidence from China. Journal of Geochemical Exploration, 58, 51-62.
- Xie, X., Ren, T. and Mu, X., 1997, Geochemical mapping in China. Journal of Geochemical Exploration, 60, 99-113.
- Youm, S.-J., Ahn, J.-S., Cho, Y.-C., Lee, P.-K. *et al.*, 2013, Regional geochemical mapping for rare elements. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, GP2013-009-2013(1), 201 p (in Korean with English abstract).
- Youm, S.-J., Kim, J.-G., Song, H.-C., Shin, S.-C., Ahn, J.-S. *et al.*, 2010, Local geochemical mapping. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, GP2010-025-2010(1), 198 p (in Korean with English abstract).
- Youm, S.-J., Lee, J.-S., Shin, S.-C., Lee, P.-K. *et al.*, 2011, Local geochemical mapping. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, GP2010-025-2011(2), 278 p (in Korean with English abstract).
- Youm, S.-J., Shin, S.-C., Choi, Y.-S., Lee, P.-K. *et al.*, 2012, Local geochemical mapping. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, GP2010-025-2012(3), 249 p (in Korean with English abstract).
- Yun, S.-G. and Yun, H.-S., 1975, Detailed geochemical exploration in the east area of Mt. Yemi. Geological and Mineral Institute of Korea, Report of Geological and Mineral Exploration, 3-1 (in Korean).

---

투 고 일 : 2014년 9월 10일  
 심사 일 : 2014년 9월 11일  
 심사완료일 : 2014년 10월 7일