

국내 지화학탐사 발전사

진명식*

제주화산연구소

Historical Reviews and Trends on Geochemical Exploration in South Korea

Myung-Shik Jin*

1. 지화학탐사의 태동기(1958년~1966년)

지화학탐사는 지하자원을 발견하여 개발하기 위해 적용하는 여러 방법 가운데 지표에 존재하는 하천퇴적물·암석·토양·하천수·지하수·식물 등 다양한 지질물질을 채취 분석하여 유용한 자원의 부존지역을 탐사하는 것을 말한다. 그러나 지화학탐사를 하기 위해서는 많은 분석 장비와 인력 등 적잖은 비용이 소요되므로 대개 국가기관에서 담당하는 것이 일반적이며, 일부 규모가 큰 광산에서는 암석 또는 토양 시료를 채취하여 광물의 품위를 확인한다든가 광화대의 연장을 확인하는 수단으로 지화학적인 방법을 활용하지만, 이와 같은 것을 지화학탐사라고는 하지 않는다.

우리나라에서도 다른 나라와 마찬가지로 지화학탐사를 지하자원탐사에 이용하려는 계획은 1958년 현 한국지질자원연구원의 전신이었던 중앙지질광물연구소의 제련과(과장: 김원조)에서 처음 시작하였다. 그러나 그 때는 6.25 한국전쟁이 휴전협정으로 종전되고 모든 연구·실험시설이 파괴 또는 분실된 후였으므로, 시설이나 인적자원은 매우 보잘 것 없는 형편이어서 거의 모든 관련분야의 자료를 외국의 문헌에 의존할 수밖에 없었다. 즉 시료채취방법, 암석·광물·자연수 등 지화학 시료의 분석법 등 매우 기초적인 것부터 이들 분석자료의 해석과 도면화 등 보고서를 작성하는 것까지 지화학탐사의 모든 것을 선진국의 문헌에 의존하고 실제 실험이나 야외 탐사를 하기보다는 실내에서 주로 문헌자료 번역과 정리에 주력할 수밖에 없었다.

1961년 5.16 군사쿠데타 이후, 군사정부는 경제개발

계획을 추진하면서 종래의 중앙지질광물연구소를 확대·개편하여 1962년 6월에는 국립지질조사소를 발족시켰고, 종래 선광과가 맡았던 광물·암석·자연수 분석업무 외에, 새로운 업무인 지화학연구와 지화학탐사를 관장하는 지화학과(과장: 김동식)를 신설하였다.

1962년 5월부터 우선 광화작용의 주요 지시원소인 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn), 철(Fe), 망간(Mn), 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W)의 야외 분석법개발(연구자: 송기종, 김창영, 정경호, 이혁우, 김홍대, 김동엽, 양문열 등)에 착수했으며, 주로 미국지질조사소(USGS)에서 개발한 야외분석법을 기초로 했다. 한편 지화학탐사팀(윤상규, 이재영, 서효준, 허관육 등)은 선진국의 지화학탐사와 관련된 논문과 보고서를 수집하여 야외조사 및 탐사방법을 도입해서 적용하는 연구를 하였다.

1963년에는 처음으로 광산 및 온천탐사에 지화학적인 방법을 적용하여 많은 야외 경험을 얻었고, 1964년부터는 이전의 탐사경험과 자료를 바탕으로 현장 지질자료와 분석자료의 합리적인 처리 및 해석방법, 그리고 지화학탐사의 적용분야를 연구하는 한편, 니켈(Ni), 코발트(Co), 은(Ag) 등 광화작용의 지시원소에 대한 야외분석법과 온천탐사를 위한 수질분석법(염소: Cl, 황산이온: SO₄²⁻ 등)을 확립했다.

1963년부터 1966년까지는 연차적으로 광역 및 정밀 조사를 실시함으로써 지화학탐사사업에 착수하기에 이르렀다. 또 당시에는 첨단 분석기기라고 할 수 있는 발광분석기(emission spectrograph)를 이용하여 토양·암석·표사·자연수·온천수 등을 분석하였다. 탐사 결과는 가행중인 광산 주위에서 광체의 연장을 확인하

*Corresponding author: granitejin@yahoo.co.kr

거나 새로운 광체를 탐사하는 데에 귀중한 자료로 활용되었다.

1966년에는 상동, 연화, 동래, 영양, 함안 등 기존 광산지역에 대하여 구리, 납, 아연, 몰리브덴, 텉스텐 등을 지시원소로 하는 정밀 지화학탐사를 실시하여, 새로운 광체를 찾거나 광맥의 연장부를 확인하였다. 한편 1965년부터 1971년까지 제1차 및 제2차 경제개발 5개년계획과 관련하여 전국의 유망한 지역을 1:50,000 지형도 단위로 구분하여 구리, 납, 아연, 몰리브덴을 지시원소로 광역 지화학탐사를 실시하였다. 이때 조사된 지역은 옥동, 서벽리, 장성, 연일, 감포, 장계, 장기리, 무풍, 거창, 함양, 안의, 평해, 영해, 도계동, 영양, 중평동, 예안, 밀양, 영산, 마산, 충무, 사천, 삼천포 등 23개 도폭이며 (이상 1965년), 의령, 진동, 양산, 언양, 울산, 동래, 평해, 영해, 도계동, 영양, 중평동, 예안, 감포 등 14개 도폭(이상 1966년), 상동, 조양(감포), 영양, 동래 등 4개 도폭(이상 1967년), 황강리, 목계, 산청 등 3개 도폭(이상 1968~1969년), 황강리, 장성, 현동, 유천, 풍암, 고성 등 6개 도폭 (이상 1970년), 황강리, 유천, 마산 등 3개 도폭(이상 1971년) 등이다. 지화학탐사 결과 구리, 납, 아연, 망간 지화학 이상대 약 40 개소, 몰리브덴, 텉스텐, 주석(Sn) 지화학 이상대 12 개소, 그리고 형석(CaF₂) 지화학 이상대 약 10 개소, 알루미늄(Al₂O₃) 지화학 이상대 약 40 개소를 확인하여 지화학탐사 기술은 매우 빠른 속도로 발전하게 되었다.

지화학탐사 분야의 국제기술협력은 1962년 USOM의 추천으로 미국과 캐나다의 지화학탐사 전문가인 Jordt 박사와 Moxam 박사가 국립지질조사소에 내소하여 우리 기술진과 합동탐사반을 구성하여, 남한 전 지역에 대한 1:250,000 지형도 단위의 지화학탐사를 실시한 것이 효시였다.

1962년~1967년까지 5년간은 한미 공동지화학탐사(MIE)가 실시되었는데, 한국측에서는 윤상규, 서효준, 이재영, 혀관육, 윤건신, 이문규, 김대영 등이 참여하였고, 미국측에서는 Jordt와 Moxam 박사가 참여하였다. 이 사업을 통해 1:250,000 지형도 단위의 지화학 이상도(異常圖: anomaly map)를 작성하였다. 이 때 지화학 탐사는 1:50,000 지형도를 기본도로 사용하여 시료를 채취하였다. 우리나라의 지형과 지질은 매우 복잡한데, 당시에는 지질조사도 충분히 이루어지지 않은 상태에서 지화학탐사가 이루어졌을 뿐 아니라, 시료채취 위치가 조사 기본도(1:50,000)의 3차 또는 4차 수계에 해당하는 비교적 큰 하천이었기 때문에 각 시료가 대표하는 지역이 여러 접수분지로 복합적이어서 이상대

의 위치를 한정하기가 확실치 않았다. 또한 당시는 6.25 한국전쟁이 종전된 지 얼마 안 된 때여서 전쟁 중의 총탄이나 포탄, 전차 등 군수물자에 의한 오염으로 인한 이상대도 나타날 수 있었으나, 관련자료가 전혀 보고된 바가 없었기 때문에 탐사자료의 해석에는 많은 어려움이 있었다.

1964년에 지화학과의 이재영은 당시 Colombo Plan으로 영국 런던의 임페리얼 대학에, 그리고 1966년에는 서효준이 미국 정부의 초청으로 Denver에 있는 지질조사소(USGS)에 각각 1년씩 파견되어 지화학탐사기술을 연수한 후에 귀국하여 지화학탐사 기술에 많은 진전을 이루었다.

2. 지화학탐사의 정착기(1967년~1975년)

1967년에 시작된 제2차 경제개발 5개년계획은 지하자원개발에 큰 비중을 두었기 때문에 국립지질조사소의 활동은 매우 활성화 되었으며, 따라서 지화학탐사 연구도 활발해졌다. 특히 이미 가행중인 광산인 상동광산 주위에서 지화학탐사법을 확립하려는 모델탐사연구(orientation survey)가 추진되었고, 황강리, 목계, 감포, 영양, 산청, 유천, 마산 등 지역을 포함한 국토 중부와 남부 지역의 구리, 납, 아연, 몰리브덴, 텉스텐, 형석 등 중화학공업 원료자원 확보를 위한 지화학탐사가 중점적으로 수행되었다. 이때 실시한 탐사(조사자: 혀관육, 김영세)에서 선정한 지화학 이상대는 1960년대 말 영양 자연동광(native copper)의 발견에 결정적인 자료를 제공하였다.

그 외에 하동·산청 일대의 회장암질 암석을 대상으로 알루미나(alumina)자원 확보를 위한 지화학탐사(조사자: 상기남, 박의영)를 실시하여 알루미나 31~33%의 지화학 이상대 지역 7개소를 확인하여 알루미나자원 확보를 위한 자료를 제공하였다.

한편 미국지질조사소(USGS)에 연수하러 갔던 서효준이 귀국하면서 1968~1971년까지 지화학 탐사기술은 더욱 발전을 거듭하면서, 남한의 중부지역인 목계, 황강리 지역의 구리, 납, 아연, 몰리브덴, 텉스텐, 형석 등을 대상으로 지화학탐사(조사자: 이재용, 조재상, 홍남의 등)를 실시한 결과 약 40 개소의 지화학 이상대를 확인하여 비철금속 및 형석 자원개발에 자료를 제공하였다.

1970년부터 국내 지화학탐사연구는 그 전까지 해왔던 기존광산 주위의 모델탐사를 지양하고, 1:50,000 지형도(구도폭) 단위로 지화학도를 작성하여 미국, 호주,

캐나다, 러시아 등 선진국의 광물자원탐사에서와 같이 가장 기초적인 자료를 제공하는 탐사법으로 전환하였다. 남, 아연, 텉스텐, 몰리브덴 광화대 중에서 잘 알려진 1:50,000 장성·현동 도폭(조사자: 허관숙, 김영세, 김수준), 유천·마산 도폭(조사자: 김상엽, 이재용, 온준철, 이원태)에 대해 지화학탐사를 실시한 결과, 두 지역에서 각각 구리, 남, 아연, 몰리브덴, 텉스텐, 비스머스(창연, Bi), 형석 등 여러 지화학 이상대를 확인하였다. 그러나 이와 같은 1:50,000 지형도 단위의 지화학 탐사는 정부의 지속적인 예산과 인력의 지원 없이는 불가능하였으므로 시도한 지 얼마 되지 않아서 곧 중단되고 말았다.

1971년부터 1975년까지는 영국 지질조사소(BGS: British Geological Survey)의 지화학탐사 전문가들 (Drs. Workman, Reedman, Page, Mr. Sandon 등)이 우리나라 국립지질광물연구소(1973년 3월에 국립지질조사소가 국립지질광물연구소로 개편됨)에 파견되어 합동으로 충북 황강리 광화대에 대한 지화학탐사를 수행하였다.

1972년부터 1973년에는 정부의 핵연료자원 확보를 위한 정책에 따라 충청남북도와 전라북도 일대의 옥천 습곡대에 분포하는 흑색 슬레이트에 부존하는 우리늄 광상을 대상으로 광역 및 정밀 지화학탐사(연구자: 이재용, 김영세 등)를 실시하여 수십 개 공의 시추탐사를 통해 우리늄광량 확보에 중요한 자료를 제공하였다.

1972년부터 1976년까지 제3차 경제개발 5개년 계획 기간에 춘양·진해·괴산·자인 도폭 등에 대해 실시한 지화학탐사(조사자: 허관숙, 이원태, 진명식, 온준철, 이재용, 김영세, 김문수 등)는 광역탐사로 확인된 지화학 이상대를 그 다음 해에 정밀탐사를 하여 유망지역을 선정한 후 시추탐사까지 하는 방법으로 추진하였다.

이 시기의 지화학탐사에서 가장 어려웠던 일은 도폭 단위로 채취하였던 하상퇴적물(중사)시료 약 200 여개를 대상으로 구리, 남, 아연, 몰리브덴, 텉스텐, 비소, 비스머스, 카드뮴 등 지시원소를 정확하게 분석하는 것이 가장 어려운 문제였다. 특히 당시 USOM의 원조물자로 들어왔던 원자흡광분석기(atomic absorption spectrometer, Perkin-Elmer 290B)는 본체와 몇 종 안 되는 헬로우 캐소드 램프(hollow cathode lamp)만이 들여와 조사자들이 원하는 지시원소를 분석할 수도 없었고, 또 기계가 고장 나면 언제 수리될지를 모르기 때문에 마치 신주단지 위하듯이 비닐덮개를 씌워 놓고 먼지가 많지 못하도록 아끼던 일이 기억난다. 또 다른 방법은 비색법으로 분석을 하였는데 여러 가지 분석에 딸린 부대시

설이 형편없었고 표준화가 안 되어 있었기 때문에 분석자에 따라 분석치가 달라서, 당시 조사자들은 자료를 해석하는 데에 많은 어려움을 겪었다.

금속광물자원탐사는 각 나라의 광상구와 밀접하게 관계가 있음에도 불구하고, 국내에서는 1970년대 초까지 광상의 성인과 금속 광상구에 관한 연구는 제대로 진행된 바가 없었다. 그러나 연세대 김옥준 교수가 1971년 'Metallogenic Epochs and Provinces of South Korea'라는 논문을 발표하여, 동북-남서방향으로 대상 분포를 하는 주라기 대보화강암은 금-은 광화작용과 관계를 가지며, 한반도의 동남부인 경상남북도 일대에 분포하는 백악기 불국사화강암은 금, 은, 구리, 남, 아연 등 금속 광상과 관계가 깊다고 하여, 이 분야의 연구에 큰 자극을 주었다.

이와 비슷한 시기에 한반도 특히 남한의 광물자원탐사를 위한 야외 지화학탐사를 이론적으로 뒷받침할 수 있는 근거를 확보 또는 확인하기 위하여 국립지질광물연구소 지화학탐사과에서는 1972년부터 지화학기초연구라는 연구과제를 개설하여 '경상분지에 분포하는 중생대 백악기 화강암과 광화작용과의 관계'를 암석지구화학적으로 연구하기 시작하였다.

3. 지화학탐사의 도약기(1976년~1990년)

1976년 5월 종래의 국립지질조사소가 정부출연기관인 재단법인 자원개발연구소로 개편되면서 종래의 과(科)는 실(室)로 바뀌었으며, 지화학과는 지화학탐사실로 개편되었다. 초대 실장은 그해 5월에 영국 Leeds 대학에서 '상동광산의 중석광화작용의 성인' 연구로 학위를 받고 귀국한 김상엽 박사가 맡았다.

앞서도 기술한 바가 있었지만, 새로 개편된 자원개발연구소(KIGAM)의 주요 업무는 광물자원을 확보하여 수출을 하든지 우리나라의 기간산업을 중공업화는 것 이었다. 다른 또 하나의 관심사는 1970년대 초부터 언론매체에 줄기차게 떠들썩했던 '포항일대의 유징발견'에 대한 정부차원에서의 확인 및 개발타당성 검토, 그리고 이웃나라 중국의 동북지방인 흑룡강성-길림성 일대에 분포하는 중생대 백악기 지층에서 중국의 최대 유전인 대경(大慶) 유전이 확인되어 전 세계의 지질학계를 놀라게 한 큰 사건이 있은 직후였기 때문에, 우리나라의 경상남북도와 전라남도 해안일대에 광범위하게 분포하는 '중생대 지층인 백악기 경상누층군에서의 석유부존 가능성확인'이 대단히 중요한 프로젝트가 되었다. 이에 따라 자원개발연구소에서는 지화학탐사실

중심으로, 광물자원 지화학탐사 외에 중생대 경상누층군을 대상으로 석유부존가능성을 확인하는 유기지화학 탐사가 '경상계 지화학탐사'라는 이름으로 각각 5개년 계획으로 시작되었다.

3.1. 광물자원 지화학탐사

자원개발연구소의 김상엽 박사는 이전의 국립지질조사소 광상과에 근무한 경력과 선진 영국의 지화학탐사 기술을 접목하여, 지화학탐사 자료를 금속광상탐사에 최대한으로 활용하는 추진계획을 세워 금속광상연구실과 공동으로 경남 미산일대의 옥방, 오봉산, 북면지역의 토양시료를 대상으로 지화학탐사(조사자: 이취영, 이진수)를 하도록 독려하여 시추탐사를 할 수 있는 지화학 이상대 자료를 제공하였다.

1977년에는 전남 고흥, 장흥 일대의 구리, 납, 아연, 비스마스 등 광상을 대상으로 주로 토양과 암석시료를 대상으로 지화학탐사(조사자: 김상엽, 진명식, 이진수, 김성재, 김연기, 이취영 등)를 하여 선정한 지화학 이상대를, 육상물리탐사실과 협동으로 정밀탐사하여 고흥과 장흥 지역에서 각각 5개소의 이상대를 확인하였다. 이들에 대한 시추탐사 결과 장흥 지역에서 납·아연 1.24~10.25%인 광체 약 26만 톤을 확인하였고, 고흥 지역에서는 구리 0.2~1.1%인 광체 약 30만 톤을 확인했다. 장흥지역에서는 토양과 암석 지화학탐사 결과, 4 개소의 이상대를 확인하였고 이에 대한 물리탐사와 시추탐사를 실시한 결과, 납·아연 5~7%, 구리 0.3~0.5%의 각력파이프(breccia pipe) 형태의 광체 약 70만 톤을 확인하였다.

1978년에는 유엔개발계획(UNDP)의 세계적인 반암동광상(斑岩銅礦床, porphyry copper deposit) 전문가인 영국의 R. H. Sillitoe 박사를 초청하여, 백악기 화강암류가 분포되어 있는 경상남북도와 전라남도 해안 일대를 대상으로 우리나라에서 반암동광상의 부존가능성을 확인하는 아외조사를 약 3개월간 실시하였다. 조사결과, 경상남도 창녕군 길곡면 길곡리에 분포하는 붉은동(銅) 광산과 경상북도 경주시 양남면 석읍리·기구리 일대에 분포하는 금령광산이 광상학적으로 반암동광상에 속하나, 그 매장량이 미미하여 경제적인 가치가 없음을 확인하였다. 이 광역 지화학탐사 중에, 경상남도 남해의 삼동 몰리브덴 광산, 고성의 늘았골, 창원시 북면 화천지역 등에서 지구물리탐사팀과 협동으로 몰리브덴, 구리, 납, 아연 광화대를 확인하였다.

1979~1980년에는 단위 광화대를 위주로 태백산 일대의 동남·원동광산 일대, 남해안의 삼동·흘산 광산일

대, 창원 화천의 납석 광산일대를 대상으로 광역 및 정밀 지화학탐사를 계속하였으나, 예산부족으로 확인된 이상대에 대하여 시추탐사는 하지 못했다.

1980년대 말에 들어서면서 우리나라 확보를 위한 조사/탐사사업에 뚜렷한 성과가 없어, 한국동력자원연구소에서 주관해 온 우리나라 지화학탐사사업은 사실상 종료되고, 우리나라보다는 오히려 금·은을 위시한 여러 금속 광물자원의 탐사 쪽으로 방향이 변환되기에 이르렀다. 1986년에는 무주·영동지역, 1987년에는 설천·무주·영동 지역, 1988년에는 공주·청양지역을 대상으로 광역 지화학탐사를 실시하여 약 10 개소의 광역 지화학 이상대를 확인하여 비금속광상실이나 육상물리탐사실의 정밀탐사를 위한 기초자료로 제공되었다.

1981년부터 자원개발연구소 내부의 업무분장에 따라서, 지화학탐사실은 하상퇴적물인 중사(重砂) 또는 표사(漂沙)를 이용한 1:50,000 지형도(구도폭) 단위의 지화학탐사를 실시하여 지화학 이상대를 제시하는 지화학도를 작성하는 광역 지화학탐사가 부활되었다. 이 사업은 연차적으로 한정된 예산지원으로 1986년까지는 1:50,000 구도폭 1개씩 완성해 나갔다. 즉 1981년에는 호명, 1982년 서벽, 1983년 옥동, 1984년 예미, 1985년 장성, 1986년 고사리(이상 조사자: 진명식, 이진수), 1987~1988년에는 임계(조사자: 문건주, 홍영국) 도폭에 대해 14개 원소를 대상으로 지화학도를 발간하였다. 이들 지화학도를 발간하면서 그 당시까지 수작업으로 처리하던 지화학도를 1981년에 자체 개발한 전산프로그램을 이용하여 처음으로 전산 도면화하였다. 한국동력자원연구소 지화학탐사실 이진수는 1984년 한·불 기술 협력으로 프랑스 BRGM에 1개월간 파견되어 지화학 탐사자료의 전산화처리에 관한 연수를 받고 귀국하여, 탐사자료 처리와 도면화 기술이 한층 발전되게 되었다.

금속광물자원탐사와 더불어 광상의 성인과 관련된 지화학적 연구도 활발하게 진행되었다. 진명식(1976)은 '일광광산 주변 화강섬록암의 지화학적 암석학적 연구 및 동광화작용'을 발표하여, 일광광산의 동광화작용은 그 광상을 배태하고 있는 화강섬록암질 마그마가 운광암(運礦岩)이라는 주장하여, 백악기 화강암이 광화작용과 아주 밀접한 관계가 있음을 제시하였으며, 또 진명식(1980)은 'Geological and Isotopic Contrasts of the Jurassic and the Cretaceous Granites in South Korea'라는 제목으로 중생대 화강암 중, 쥬라기 대보화강암과 백악기 불국사화강암의 암석학 및 동위원소 특성의 차이를 구별하였고, 특히 각 화강암의 성인에 따라 전자는 금, 은 광화작용과 후자는 금, 은, 구리, 납, 아연, 물리

브텐, 텡스텐 등 금속광화작용과 관련이 있다고 하였다. 진명식 외(1981)는 'Granitic Magmatism and Associated Mineralization in the Gyeongsang Basin, Korea'를 발표하여 경상남북도 일대에 분포하는 백악기 화강암류가 맨틀기원의 I-type, 자철석 계열의 화강암류로서 금, 은, 구리, 납, 아연, 몰리브텐, 텡스텐 등 광화작용과 밀접한 관계가 있다고 주장하였다. 또 진명식 외(1982)는 'Lithogeochemistry of the Cretaceous Granitoid with Relation to the Metallic Ore Deposits in Southern Korea'를 발표하여, 한반도 동남부에 분포하는 백악기 불국사화강암류의 시료 180여개를 채취하여 주성분원소와 미량원소를 분석한 결과, 주성분원소의 분포는 암석의 암상을 잘 반영하며 광석원소의 분포는 금속광상의 분포와 일치하는 경향을 보임으로써, 이를 화강암이 운광암으로서 작용했음을 암시하였다. 이재영(1987)은 'A Geochemical Study on Trace Elements in the Granitic Rocks in relation to Mineralization in the Limestone Area of the Taebaegsan Basin'에서 태백산광화대의 각 금속광상은 백악기 화강암류의 암상과 밀접한 관계를 보이는데, 구리-철 광상은 화강섬록암 또는 석영민조나섬록암과, 납-아연 광상은 화강섬록암 또는 화강암과, 몰리브텐-텅스텐 광상은 화강암과, 그리고 망간광상은 석영반암과 밀접한 관련이 있다고 보고하여, 이 지역 금속광상탐사에 주요 자료를 제시했다.

한편 국내 공과대학 자원공학과의 지구화학탐사 전문가들 중, 특히 전효택(1978)은 '천안지구 함금석영맥 광상의 광화작용과 관련된 미량원소들의 분산에 관한 지구화학적 연구'로 광석원소들의 일차분산(암석)과 이차분산(토양)에 관한 자료를 확립하여, 함금석영맥의 지화학탐사시에 실질적으로 활용할 수 있는 시료의 종류, 채취방법, 지시원소 등에 관한 자료를 제공하였다. 김옥배(1981, 1983)는 광범위한 지역을 대상으로 지화학탐사를 할 때, 많은 양의 시료 및 다양한 지시원소를 분석하여 이들에 대한 통계적인 처리와 지질자료가 함께 해석되어야만 탐사효율을 높일 수 있다는 취지로 지질 및 분석자료의 통계처리에 대한 연구를 실시하였다. 김명균(1986)은 '생산성 심성암체의 암석지구화학적 특징과 광상탐사에의 응용에 관한 연구'에서, 경상분지와 옥천대에 분포하는 중생대 화강암체 중, 광화작용과 관계가 있는 암체와 관계가 없는 암체를 구분하여, 암석 시료의 주성분과 미량성분 분석결과를 암체별로 통계 처리하여 생산성 암체와 비생산성 암체간의 특성차이를 알아내었다. 그러나 이 연구에서는 화강암체 주변의 광상은 모두 그 암체에 의한 광화작용으로 인정했다는

것이 큰 문제점이었으며, 그 결과의 해석에 많은 어려움이 있었을 것으로 생각된다. 그리고 이와 유사한 연구로 이덕원(1988)은 '상동-울진 지역의 주석광화작용과 관련된 화강암류의 암석지구화학적 특징과 탐사에의 응용에 관한 연구'에서 이 지역의 화강암은 우선 주석과 텡스텐의 광화작용과 밀접한 관계가 있는 "S-type"의 "티탄철석 계열"의 화강암에 속하며, 생산성 화강암체 내의 광석원소의 일차분산이 비생산성 화강암체의 그것보다 훨씬 높다는 것을 확인함으로써, 일차분산을 확인하는 것이 가장 중요한 탐사지침이 될 수 있음을 제시하였다.

이재영(1989), 이재영 외(1990, 1992, 1994, 1996), 이진국과 이재영(1994)은 경상분지 및 대백산 광화대에 분포하는 화강암류의 주성분 및 미량원소와 금속광상과의 관련성을 지화학적으로 연구하여 암석의 화학 조성과 광상이 매우 밀접한 연관이 있음을 제시하여 이 지역 광상탐사에 주요 자료가 되었다. 그 후 김옥배와 이무성(1992)은 전북 김제 일대의 금광의 지화학 탐사를 예로 하여 농경지역에서의 농경작업과 폐석의 오염에 영향 받지 않은 적정한 토양시료 채취심도를 연구하여, 밭토양은 60cm 이하, 논토양은 150~200cm 이하의 심도가 적정함을 제시하였고, 지시원소로 비소(As)만을 택하는 것보다는 금(Au)을 함께 택하는 것이 더 효과적이라는 결과를 발표하여 우리 실정에 맞는 탐사법을 제시한 바 있다. 진호일(1996)은 '금산지역 형석광화대에 분포하는 화강암 복합체에 대한 지구화학적 연구'에서 형석광화작용을 준 화강암은 그렇지 않은 화강암류보다 불소와 같이 후기에 농집되는 원소로서 SiO_2 , K_2O , Rb , Hf , Th , U , Sm , Yb , F 등의 함량이 높다는 것을 확인하여, 형석광상탐사에 이를 원소를 지시원소로 활용할 수 있음을 보고했다.

1970년 후반부터는 자원개발연구소도 개발도상국에 대한 탐사기술공여의 일환으로 여러 나라에서 파견되어 온 훈련생에게 광물자원 지화학탐사 관련 실내시험과 야외탐사 훈련을 시켰다. 1978년에는 불리비아, 태국, 라이베리아 등 3개국에서 파견돼 온 훈련생을 3개 월간 지도하였으며, 1982년에는 남미 콜롬비아(1명), 1987년에는 필리핀(1명)에서 온 훈련생을 각각 1개월 씩 훈련시켰다.

자원개발연구소 김상엽 박사는 1979년 KOICA사업으로 동남아 여러 나라에 지화학탐사 전문가로 1개월 간 파견되어, 해외광물자원탐사사업을 자문하였다. 다시 김상엽은 1980년부터 1983년까지 인도네시아 반동에 있는 UN ESCAP산하 RMRDC에 파견되어 지화

학탐사 전문가로서 동남아 일대의 여러 나라에 탐사기술을 전수하였다. 한편 진명식은 KOICA의 한-필리핀 기술협력의 일환으로 1986년과 1987년에 각각 1개월 씩 필리핀 지질조사소에 파견되어 지화학탐사 기술을 자문하였으며, 1994년에는 KOICA 사업의 일환으로 남미 콜롬비아의 지질조사소(INGEOMINAS)에 1개월 파견되어 지화학탐사 기술을 자문하였다.

3.2. 유기 지화학탐사

1976년 5월에 국립지질조사소가 자원개발연구소로 개편된 가장 중요한 이유 중의 하나는, 국립지질조사소의 직제가 경직되어 있어서 우수한 인력의 확보 및 처우가 어렵기 때문에 출연연구소로 개편하여, 우수한 인재를 확보하여 자원개발 및 경제개발을 적극적으로 추진하려는 정부의 중장기적인 목표가 있었기 때문이다.

앞서 기술한 바와 같이, 자원개발연구소로 개편되면서 가장 중요했던 탐사사업은 경상남북도와 전라남도 일대에 분포하는 중생대 백악기 지층에 석유자원의 부존 가능성을 규명하는 것이었다. 이 사업은 당시 자원개발연구소의 에너지자원실에서 주관하여, 지질조사를 담당하였고, 지화학탐사는 지화학탐사실 유기 지화학조사팀(조사자: 양문열, 윤현수, 홍영국, 신성천, 문철 등)을 구성하여 국내에서는 처음으로 유기 지화학탐사를 실시하였다. 석유근원암으로서의 지화학적 잠재력을 검토하기 위하여 세일·이암·실토스톤 등 이질 퇴적암을 대상으로 케로젠(kerogen)과 비투민(bitumen)을 추출하고, 총탄소와 유기탄소, C-H-N 등의 분석(분석자: 양문열)을 실시하였다.

탐사대상지역은 중생대 백악기 퇴적암이 주로 분포하는 경상분지와 전라남도 해남일대를 주대상 지역으로 하였다. 즉 첫해인 1976년에는 경주-안강지역(조사자: 홍영국)을 대상으로 하였으며, 1977년에는 경상분지를 3개의 측선으로 나누어 영천-군위-선산 측선(조사자: 윤현수), 합천-남지-신반 측선(조사자: 문철), 원주-진주-진동 측선(조사자: 신성천)에 대해 야외조사를 수행하였다. 1978년에는 이질 퇴적암 가운데 가장 유기물 함량이 높은 흑색 내지 암회색 세일 또는 이암의 발달이 양호한 경상남도 진주-남해지역(조사자: 신성천)과 전라남도 해남지역(조사자: 윤현수)을 대상으로 지화학탐사가 이어졌다. 1979년에는 해남-목포지역(조사자: 윤현수)의 흑색 세일을 중심으로 추가조사를 하였으며, 울산지역의 백악기 퇴적암(조사자: 신성천)에 대해서도 유기지화학탐사가 수행되었다. 이어 1980년에는 의성 소분지의 퇴적암(조사자: 윤현수, 신성천)에 대해서도

유기지화학적 검토를 마쳤다.

실내분석과 실험 결과, 경상분지에 분포하는 백악기 이질 퇴적암 내의 유기물은 주로 육상 고등식물에서 유래된 유기물로서 이너티나이트 형(inertinite type)의 케로젠(kerogen)으로 구성되어 있어서 석유근원암으로서 가능성에 부정적인 결론을 얻었다. 한편 해남지역에서는 우창리 해안의 흑색 세일 중에 국지적인 아스 팔트질 유질물의 생성이 관찰됨으로써 주의를 끌었으나 유질물은 더 이상 주변 지층으로 이동되지 않고 우창리 노두에만 국한된 현상으로 밝혀졌다.

당시에는 석유(탄화수소) 지화학 분야의 경험이 전혀 없었기 때문에, 1976년~1977년에는 전 일본지질조사소 유기지화학전문가이자 일본 국제협력단(JICA)의 전문가인 Koji Motojima(本島公司) 박사를 초청하여, 중생대의 경상분지 및 전라남도 해안일대에 분포되어 있는 퇴적암을 대상으로 석유자원 지화학탐사를 공동으로 수행하면서 매년 1개월씩 야외탐사 자문을 받았고, 세미나와 워크숍을 열어 유기 지화학탐사 기술의 발전을 도모하였다. 특히 Motojima 박사는 일본과 해외에서의 경험을 토대로 석유지화학탐사에 관한 많은 조언을 아끼지 않았으며, 유기 분석방법과 시설, 그리고 여러 분석장비를 추천해 주었다. 그의 자문은 1981년까지 6년간 수행되었다.

3.3. 핵연료자원 지화학탐사

1976년부터 6년간 실시한 석유자원탐사가 별다른 성과 없이 끝나면서, 에너지자원을 확보하려는 정부의 정책은 핵연료자원 확보라는 차선책에 관심을 갖게 되었고, 당시 국내에서는 고리, 월성, 울진, 법성포 등지에 원자력발전소를 건설하였거나 건설 중이었기 때문에 만일 국내에서 핵연료자원의 원료광물인 우라늄광을 확보할 수 있다면 정치·경제·사회적 효과는 지대할 것으로 기대되어 1980년부터 많은 예산과 인력을 투입하여 큰 규모의 대표 국책사업으로 시작되었다. 1950년부터 1980년까지 핵연료자원에 대한 탐사는 지질학적 으로 유망한 선캠브리아기~고생대 지층을 대상으로 주로 옥친습곡대에 분포하는 변성퇴적암을 대상으로 광상조사와 물리탐사를 병행하거나 또는 독립적인 방법으로 수행해 왔다.

1980년 우라늄탐사사업이 본격적으로 착수될 당시만 해도, 과거에 간헐적으로 실시된 지질조사 또는 차량 방사능탐사 등에서 알려진 기존 자료를 검토하고, 우라늄이 산출되었거나 산출가능성이 있는 것으로 알려진 지역에 대해 해당 노두를 확인조사하고 그 주변지

역에 대해 지화학탐사를 실시하고 지화학 이상대를 선정하는 데에 초점을 맞췄다(조사자: 김문영, 신성천, 김통권, 김성재).

1980년에는 울진과 가평지역의 선캠브리아기 편마암류에 대해 지화학탐사를 실시하였다. 1981년에는 청평 양수리 지역에서 과거 차량방사능탐사 결과 인지된 이상대와 1:50,000 호명도폭에 대해 지화학탐사를 실시하였다. 1982년에는 충북 제천시 북쪽 감악봉 일대에서 항공탐사 결과 확인된 반상변정질 편마암 내의 우라늄 방사능 이상대와 강원도 태백의 동점지역에서 국지적으로 확인된 바 있는 홍제사화강암의 균열내 우라늄광물 산출지의 주변지역과 인근 석포지역에 대해 주변지역의 확인에 필요한 광역 지화학탐사를 실시하였다. 1983년에는 1:50,000 서벽리도폭과 용두리 북부 항공탐사 이상대 지역, 1984년에는 울진 북부지역, 봉화군 석포면 대현리, 양평군 양수리 일대의 탐사가 수행되었다. 그리고 1985년에는 경북 영양분지 금장산 우라늄산출지를 포함한 퇴적암 지역을 조사하였다. 모두 20여 개소의 우라늄 지화학 이상대를 확인하여 정밀조사 대상지역으로 선정하였다. 특히 대현리에서는 선캠브리아기 화강암질암 내에서 소규모의 우라나이트 광체를 발견하였는데, 그 주변지역으로의 연장여부를 확인하기 위해 하천퇴적물·하천수·토양 등 다양한 지질매체를 이용하여 정밀 지화학탐사를 실시하였으나 연장부는 추적되지 않았다.

1986년에는 전주·전안 일대에서 우라늄 지화학탐사를 실시한 결과(조사자: 서효준, 신성천, 윤현수, 김통권), 하천수에서 비약적으로 높은 우라늄 함량을 검출하고 정밀 추적조사를 벌인 결과, 우라늄 이상치의 근원지가 가행되지 않는 폐광산인 전안 신보광산 폐갱도 안이라는 사실을 확인하였으나, 갱 내부의 조사와 상부 지표부 조사에도 불구하고 광체는 확인되지 않았다.

4. 지화학탐사의 안정·전환기(1991년~현재)

지질학의 모든 분야가 그렇듯이 지화학탐사 역시 그 나라의 경제 및 과학의 발달과 영토의 크기의 아주 밀접한 관계가 있다. 우리나라의 지화학탐사도 우리나라의 경제를 발달시키기 위하여 국내의 지하자원을 개발하여 수출함으로써 외화를 획득하고, 그것으로 다른 산업을 발전시키려는 정부의 경제개발 계획의 일환으로 1980년대 중반까지 강력히 추진함으로써 많은 발전을 이룩한 것은 틀림없다. 즉 지질환경의 오염은 자원개발과는 동전의 양면과 같아서 항상 같이 따라다니며,

그 나라의 경제발전에 따라서 경제에 득(得)이 되거나 우리의 생활환경에 독(毒)이 된다.

따라서 우리나라로 경제적으로 발전한 다른 선진국과 마찬가지로 경제가 발달함에 따라서 일차산업인 광업은 점점 우리 경제에 기여하는 비율이 미미하게 되었으며, 지하자원 자체도 몇 종류를 제외하고는 거의 고갈되어 어느 사이에 거의 모든 지하자원을 외국으로부터 수입하는 상황이 되어버렸다. 그리고 국민소득이 높아짐에 따라서 3D 기피 업종의 하나인 광업에 종사하는 인구도 급격히 감소되어 더 이상 국민 또는 정부로부터 관심의 대상이 될 수 없게 되었으며, 지구화학의 새로운 연구분야인 '인류가 생활하고 있는 지질환경에서의 어떤 역할'을 찾아야 한다는 요구가 자연스레 일어나기 시작하였다.

특히 그동안 전국 각 지역에 산재되어 있는 광산과 그 주변 지역의 광산재해, 또 대규모 공단지역 및 인구밀집 지역에서의 환경오염 등에 대한 실태파악 및 그 대처방안에 관한 연구에 관심을 갖기 시작하였다. 전효택과 정명재(1991)가 '함우라늄 흑색세일 분포지역에서의 유독성 원소들의 분산에 관한 연구'를 시작한 이래하여, 1991년부터 2006년까지 자원환경지질학회지에 100여편 이상의 논문을 발표하여 기존 가행광산 주변과 산업공단 주변지역의 토양과 지표수 및 지하수, 주거지역의 폐수 및 대기 등에 이르기까지 우리 인체에 유독한 각종 중금속원소들의 분산에 관해 연구하고 있다. 환경오염이 날로 더해감에 따라 지화학탐사의 방향도 환경평가에 필요한 쪽으로 급선회하게 되었고, 환경시장의 급성장에 따라 지화학적 연구 분야도 매우 광범위하게 확장하게 되었다. 환경관련 지화학적 연구는 수많은 연구자들에 의해 매우 활발하게 진행되어 오고 있어, 일일이 거론할 수 없을 정도이다.

과거 지화학탐사의 목적은 주로 새로운 광물자원을 발견하거나 부존가능성이 있는 지역을 도출하는 데에 있었으나, 1990년대에 들어서면서 그동안 유용 광물자원의 지시원소는 오히려 인체나 동식물에 나쁜 영향을 주는 성분으로 취급받게 되었다. 따라서 지금까지 지화학도 작성의 주목적을 광물자원탐사에 두는 것보다는 현재의 지표지질환경을 정량적으로 평가할 수 있는 다목적 지화학도를 전국 규모로 완성하는 것이 절실했졌다. 과학기술부의 특별예산의 지원으로 1996년부터 한국지질자원연구원에서 전국 규모의 지화학도(geochemical map) 작성에着手하게 되었다. 이 연구사업에서는 국제지질대비프로그램(IGCP)의 일환으로 국제 지화학도 작성사업(International Geochemical Mapping)에서 제안한

표준안을 준수하여 아외탐사와 시료채취를 수행하였다. 아외탐사, 분석, 전산처리, 도면작성에 약 6년이 소요되었다. 시료채취와 아외정보 수집, 시료분석에는 한국지질자원연구원의 지질전문가와 분석전문가들이 연인원 백 명 가까이 참여하였으며, 각 도의 많은 대학교의 교수와 학생들이 공동으로 참여하였다. 아외탐사는 1:50,000 지형도를 기본도로 사용하여 실시하였으며, 8개 도에서 총 23,600 개 1~2차 수계 하천에 쌓여있는 미세한(-150 µm) 하천퇴적물(표사)을 채취하여, 주요 주성분과 미량성분을 분석하였다(XRF, ICP-AES, NAA). 방대한 분석자료를 통계처리하여 8개 도별로 전산 지화학도를 작성하였다. 각 도별로 상세한 설명과 함께 '지구화학 지도책(geochemical atlas)'으로 발간하였다. 2002년에

는 경기, 충북, 충남, 전북, 전남 등 5권, 그리고 2007년에는 경남, 경북, 강원 등 3권이 발간되었다. 지도책의 주요 구성 내용은 하상퇴적물의 원소별 지화학도와 분포지질에 따른 함량분포, 폐광산 등 이차 오염원에 의한 인위적 오염, 하천수의 특성(pH, 전기전도도) 분포도, 삼성분 지화학도, 도별 지질·지형, 광상기재, 폐광산 주변의 유해원소 농집과 확산, 지질단위별 자연배경치 등을 망라해 놓았다. 이러한 전국 규모의 지구화학 지도는 현재 우리나라의 지질환경의 상황을 자세하게 보여주는 귀중한 자료로 평가된다.

2007년 9월 1일 원고접수, 2007년 10월 17일 게재승인.