한국광물학회지 (광물과산업) 제19권 제1호, 1-12, 2006
J. Miner. Soc. Korea (*Mineral & Industry*), 19, 1, 1-12, 2006

논 단

국내 광물학의 발전사 및 연구 동향

노 진 환
강원대학교 지질학과

국내 광물학의 발전사

태동기(1945~1975)

대부분의 국내 학술분야에서 그러했듯이, 1945년 광복을 기점으로 일제 시대에 활동했었던 일본인 학자들이 일시에 본국으로 귀환함에 따라, 국내 광물학 분야의 연구는 연구 인력의 부재와 해방 이후의 혼란한 사회상 등으로 인해서 일시적으로 중단되었고 원점에서 다시 출발해야 하는 지경에 이르렀다. 그 후에 10 여년 동안의 긴 공백기를 깨고 국내에서 최초로 발표된 광물학 관련 연구 성과로는 서울공대(당시 경성광업전문학교)와 중앙지질광물연구소(현 지질자원연구원)를 거쳐 인하대학교(당시 인하공대 광산과)에 재직 중이던 운암(雲巖) 박동길 교수가 1957년도에 발표한 '한국의 지질과 광물' 을 들 수 있을 것이다(학술원, 1975).

1920년대 말에 동북대학(당시 東北帝大) 지질학과에서 수학하고 국내 최초의 한국인 지질학자로서 일제 시대부터 조사 및 연구 활동을 해왔던 박 교수는 1930년도에 이미 백운석의 광물화학적 특성에 관한 논문을 국내의 화학회지(당시 朝鮮化學會 會報)에 발표한 적이 있을 정도로 당시에는 지질학계는 물론 국내 과학기술계에서도 몇몇 되지 않았던 석학들 중의 한 분이었다. 따라서 대한민국 학술원 창설 회원이고 대한지질학회 초대 회장이기도 했던 박동길 교수의 연구 활동에서 한국 광물학의 근원을 찾을 수 있을 것이다. 또한 일본(당시 京都帝大)에서 수학하고 해방 직후부터 중앙지질광물연구소에 재직하다가 불행이도 한국동란 때 납북되었던 주수달 과장도 잘 알려져 있지 않지만 광상조사와 관련된 광물학적 연구 활동을 수행하였다. 그 외에도 윤석규 교수(연세대 지질학과 교수 역임)와 신병우 교수(한양대 자원공학과 교수 역임)도 광복 직전에 일본에서 수학하다가 귀국하여 광물학 관련 학술활동에 참여한 것으로 알려져 있다(대한지질학회, 1997). 박동길 교수를 비롯한 일제 시대에 수학했던 소위 '제국대학 출신' 학자들의 활동시기에서 해방 이후에 국내(서울대학교 지질학과)에서 수학하여 국내 광물학계의 초석을 다지는 역학을 했던 상기남 박사(국립지질조사소)와 김수진 교수(서울대학교)의 초기 연구 활동 시기로 이어지는 기간(1946~1975)을 대략 국내 광물학의 태동기로 볼 수 있을 것이다.

이 시기에는 박동길 교수를 비롯한 5명 내외의 학자들이 일제 시대의 학풍에 따라 주요 광물산지에 대한 보고와 특이한 유용광물들에 대한 광학적 성질과 화학조성 파악을 통한 광물감정에 관한 연구들이 주류를 이루었다. 이 가운

데서도 차후에 국내에서 가장 인기있는 연구 대상물이 되었던 점토광물과 망간 광물에 대한 초창기 연구들이 각각 상기남 박사와 김수진 교수에 의해서 수행되었다는 점이 특기할만하다.

성장기(1976~1985)

오늘날 광물학계의 태두로 추앙되고 있는 김수진 교수는 국내에서 현대적 의미의 광물학의 발전에 초석을 다진 인물이다. 그는 1960년대에서부터 1970년대 초에 이르기 까지 국내(서울대 지질학과)와 독일(하이델베르그대)에서 오랜 기간의 수학 과정을 거친 후에 1974년에 서울대 지질학과에 조교수로서 복직하였다. 1970년대 초에 인하대를 거쳐 서울대에서 잠시 동안 전임강사로서 재직하면서 연구에 종사하였지만, 본격적으로 대학원생들과 함께 연구체제를 갖추고 활동하기 시작한 것은 1976년도부터인 것으로 볼 수 있다. 이 시기부터 한국광물학회가 창립되기 전까지의 기간(1976~1985)을 한국 광물학의 성장기로 간주될 수 있을 것이다.

이 기간 동안에 한국광물학계는 김수진 교수를 중심으로 성장 기틀을 다질 수 있는 계기가 마련될 수 있었다. 또한 김수진 교수의 서울대 지질학과 광물학 연구실이 이 기간 동안에 국내 학계의 자생적 인재 산실로서의 역할을 담당할 수 있게 되었다는 점도 주목할 만한 사안이다. 이 연구실에서 1984년도에 처음으로 이동진 박사(한국지질자원연구원)가 학위를 취득한 후에 그 다음 해에는 노진환 교수(강원대)가 그 뒤를 이었다.

이 시기에는 그 전에는 부진했던 미국, 영국, 캐나다 등지로의 해외 유학이 활성화되기 시작하였다. 그 결과로 1984년도에 영국(리드대)에서 수학한 문희수 교수(연세대)와 미국(미시간대)의 이정후 교수(전북대)가 학위를 마치고 귀국하였고, 연이어 캐나다(칼튼대)의 김원사 교수(충남대), 일본(츠꾸바대)의 황진연 교수(부산대), 독일(하이델베르그대)의 장영남 박사(한국지질자원연구원), 미국(미시간대)의 안중호 교수(충북대), 미국(뉴욕대)의 고태경 교수(인하대) 등이 속속 국내 학계에 합류하게 되어 인적 구성 면에서 국내 광물학계는 면모를 일신할 수 있는 계기가 되었다. 또한 이들 이른바 '해외 유학파' 학자들이 국내학계에 새로운 이론과 연구방법론을 소개함으로써, 당시에 김수진 교수의 주도하에 이루어져왔던 국내 광물학계의 발전에 활력소가 되는 중요한 역할을 하게 되었다. 이에 따라 국내 광물학계는 이 시기를 통해서 독립적 학문으로서의 인적 기반과 연구 분야 면에서의 다양성을 갖추게 되는 전기가 마련되었다.

이 시기에 한국지질자원연구소(당시 동력자원연구소)의 상기남 박사는 일본에서 수학(동경대)한 후에 광물연구실을 이끌면서 이동진 박사, 이성록 박사, 김문영 박사, 장영남 박사 등과 함께 정부 출연의 광물학 관련 연구과제들을 수행하였다. 이 연구실에서는 상기남 박사의 주도 하에 우라늄 광물, 고령토 광물, 합성 광물에 관한 자원전략적 차원의 대형 연구사업들이 수행됨으로써 국내 광물학계의 활성화에 크게 기여하였다.

발전기(1986~1999)

1986년도에 이르러 불과 3년 사이(1984~1986)에 10여명의 국내외 신진 박사들이 국내의 대학과 연구소 등에 자리 잡고 연구 활동을 개시함으로써, 광물학계는 대략 30여명에 달하는 연구 집단이 형성되기에 이르렀다. 이에 고무된 김수진 교수는 그 동안의 국내에서의 학술활동 무대였던 '대한지질학회'의 체제 하에서는 광물학 발전에 한계가 있다고 판단하고, 1986년 5월에 국내 광물학자들의 새로운 학술활동의

장으로서 '한국광물학회'를 창설하게 되었다. 이를 계기로 그 후에 국내 광물학계는 연구 활동 면에서 비약적인 발전을 이루게 된다. 따라서 한국광물학회 창설 이후부터 2000년 전까지의 시기 동안(1986~1999)을 한국 광물학계의 발전기로 설정할 수 있을 것이다.

이 시기는 국내에서 광물학 분야의 최고의 석학이며 학계 발전의 선구자 역할을 했던 김수진 교수의 교육 및 연구 활동이 전성기를 이루었던 때로서, 현재 광물학계 구성원의 근간을 이루고 있는 많은 제자들이 서울대학교 광물학 연구실에서 배출되었다. 1988년에 졸업한 장세원 박사(한국지질자원연구원)를 비롯하여 1~3년 간격으로 10여명의 국내 박사들이 배출되었고, 거의 30명에 달하는 석사 인력들이 이 시기에 양성되었다(김수진교수정년퇴임기념회, 2004). 김수진 교수는 이들 제자들과 함께 국제학술지에는 물론 '한국광물학회지'에 수많은 논문을 발표함으로써 한국광물학회의 조기 정착과 한국 광물학계의 발전에 결정적인 역할을 하였다. 또한 이 기간 동안에 김 교수는 한국광물학회지의 창간과 더불어 응용광물학 분야의 중요성을 고려하여 광물산업의 발전과 관련된 연구개발의 활성화를 도모하기 위해서 '광물과 산업'지를 창간하여 초대 편집장 역할을 수행하였다.

한편, 1986년에 연세대학교 지질학과에 부임한 문희수 교수는 점토광물학 연구실을 개설하고 이 시기에 본격적인 연구 활동을 전개하였다. 이 시기에 문 교수는 송윤구 교수(연세대), 이수정 박사 등 10여명의 박사들을 배출시킴으로써 국내 광물학계의 인적기반을 이루는데 큰 역할을 하였다. 또한 문 교수는 같은 과의 송윤구 교수와 함께 이 시기에 토양광물학 분야를 중심으로 국내 최고 수준의 연구실 체제를 갖추고 활발한 연구 활동을 수행했을 뿐만 아니라, 노열 교수(전남대)를 비롯한 다수의 석사 졸업생들을 미국 등지의 해외에 유학시킴으로써 인력 양성에도 노력하였다. 특히 미국의 유수한 연구 기관(오크리지 연구소)과 연계하여 공동연구를 수행함으로써 선진 외국의 점토 및 토양광물학 연구 기법을 국내에 전수하는데 큰 역할을 하였다.

또한 이 시기 동안에는 일본(와세다대)에서 수학한 최선규 교수가 고려대에 자리 잡고 금속광물에 관한 광물생성학적 연구를 주로 '전략광물연구센타(센타장: 소칠섭 교수)'와 연계하여 활발히 수행하였다. 그 당시 광상학 및 자원지질학 분야의 석학이었던 소칠섭 교수(고려대)가 한국과학재단의 지원으로 고려대 지질학과 내에 1991년도 설립했던 이 연구센타에서 같은 대학의 최선규 교수와 연세대의 문희수 교수가 광물학 분야와 관련된 연구를 주도하였다.

그 당시 지방 국립대학에 재직 중이던 광물학 관련 교수들은 연구 인력 및 재원 측면에서의 어려움에도 불구하고 한국광물학회를 중심으로 단합되어 점토광물, 제올라이트 등과 같은 극미립 광물들에 대한 연구를 활발히 수행하고 학문적으로 많은 성과를 거두었다. 서울의 주요 대학에 재직 중인 학자들에 비해 모든 면에서 열악한 연구 환경에 처해 있었음에도 불구하고 노진환 교수가 이끄는 강원대를 비롯하여 황진연 교수의 부산대, 최진범 교수와 조현구 교수의 경상대, 정기영 교수의 안동대 연구실 등에서는 이 시기 동안에 끊임없이 좋은 연구 성과들을 발표해왔다. 따라서 이 시기에는 이들의 연구 활동에 의해서 한국광물학회는 물론 국내의 광물학계가 명맥을 유지해왔다고 해도 과언이 아닐 것이다.

그렇지만 이 무렵에는 강대국들 사이의 냉전 상황이 종식되어 과거에 비해 광물자원에 대한 수급상황이 호전되고 안정화되는 과정에서, 전 세계적으로 지질학 내에서 광물학 분야의 중요성이 과거에 비해 현격히 감쇄되기에 이르렀다. 이에 따라 지방 대학이나 지질자원연구소에 재

직 중이던 일부 광물학자들이 연구를 제대로 수행하지 못하거나 그 당시 각광을 받던 환경 관련 다른 인접 분야로의 변신을 도모하는 현상이 벌어지기도 했다. 특히 90년대 후반부터 국내에서 광물학 분야에 대한 연구개발 지원비가 급감하게 된 것도 위와 같은 상황을 초래하는데 한몫을 했다. 따라서 전체적으로 보면 그 동안 고도성장의 추세를 이어오던 한국광물학계는 이 시기의 후반부에 해당되는 1995년 전후 무렵부터 발전 추이가 둔화되면서 다소 침체되는 시기를 겪은 것으로 평가될 수 있을 것이다.

전환기(2000~현재)

2000년대 이르러 한국광물학계는 그동안 학계의 견인차 역할을 했었던 김수진 교수의 정년퇴직(2004년)과 더불어 주변 상황의 변화에 따라 전환기를 맞이하게 된다. 지난 세기 말경부터 국내 지질학 분야에 동위원소적 연구방법론이 보편화됨에 따라 지질학적 연구 주제의 해석에 있어서 광물학적 지식과 논리에 의거한 종래의 접근 방식이 다소 진부해졌을 뿐만 아니라 더 이상 그 중요성이 강조될 수 없는 상황에 이르렀다. 또한 응용 부문에서도 소위 IT 및 BT와 같은 소위 첨단산업 분야의 비약적 발전의 그늘하에서 광물자원에 관한 연구개발은 국가적으로도 관심권에서 벗어나 뒷전으로 밀려나게 되었다. 이에 따라 국내 과학기술계 뿐만 아니라 지질학계에서도 광물학자들의 역할이 현저히 저하되기에 이르렀다. 이처럼 주변 연구 여건과 풍토가 달라짐에 따라 한국광물학계는 2000년 들어 새로운 돌파구를 마련해야 될 시점에 놓이게 되었다.

이 같은 상황에서 현재 한국 광물학계가 모색하고 있는 새로운 발전 및 연구 방향은 (1) 학문적 실용성 제고와 (2) 다른 학문 분야와의 경계 분야 개척으로 요약될 수 있을 것이다. 이 같은 취지에서 김수진 교수는 지난 90년대 후반부터 문화재 보존과 관련된 광물학 응용분야에 관심을 두고 지금까지 연구해왔고, 연세대의 문희수 교수는 토양 오염과 관련된 환경광물학 분야에 역점을 두고 연구 활동을 수행하기에 이르렀다. 강원대의 노진환 교수는 새천년 시작부터 과학기술부의 지원으로 광물소재 연구센타 성격의 '산업광물은행' 을 설립해서 광물소재에 대한 물질과학적 지식토대의 마련과 새로운 관점에서의 부존자원 활용분야의 개척을 위한 노력을 경주하기에 이르렀다. 이 밖에도 안동대의 정기영 교수는 황사 물질에 대한 환경광물학적 연구를 수행하였고 연세대의 송윤구 교수는 최근에 나노광물학 분야를 개척하려고 노력하고 있는 등, 이 시기를 한국광물학계의 일대 전환기로 간주할 수 있을 정도로 2000년대에 이르러 대다수의 국내 광물학자들이 종래와는 달리 보다 실용적인 연구 분야와 미지의 경계 분야에 과감히 도전하는 사례가 급증하기에 이르렀다.

미국(스텐포드대)에서 수학하고 2004년에 김수진 교수의 대를 이어 서울대학교 광물학 연구실을 이끌게 된 이성근 교수는 이 전환기의 시점에서 연구 성향 면에서 특기할만한 학자로 여겨진다. 전도양양한 이 젊은 교수는 광물뿐만 아니라 비정질 물질에 대해 국내에서는 새로운 관점에서 열역학적 연구 및 해석 방법론을 적용하여 최근에 국외의 저명한 학술지에 많은 성과를 발표하였다. 이 교수의 이 같은 일련의 연구들이 앞으로도 성공적으로 수행되면 지구과학적으로나 응용광물학적으로 국내에서는 광물학의 새로운 지평을 여는 것과 같은 파급효과를 가져다 줄 것으로 기대된다.

연구 활동 및 동향

광복 이후 현재에 이르기까지 60년 동안 국내 광물학 분야에서의 연구 활동은 연구 주제와 연구대상 광물에 있어서 분기별로 현격한 차이를 보이며 이루어져 왔다(그림 1, 2). 광물학 분야의 연구 활동 및 동향에서의 이 같은 변천은 시대 상황, 학문적 발전 및 연구 기법의 발달에 따른 필연적 사안이다. 광물학의 발전은 그 학문적 특성상 지각구성 물질의 이해의 측면과 광물산업의 국가적 차원에서의 중요도에 의해서 크게 영향을 받는다.

광복 이후에 우리나라가 산업화를 이루는 초창기 과정(대략 70년대 중반까지)에서는 광물자원의 국내 개발은 범국가적 산업이었다는 것은 주지의 사실이다. 이 같은 사실은 그 당시 대한중석과 같은 광산전문회사가 오늘날의 굴지의 대기업체에 준하는 위상을 점유하고 있었다는 점에서도 미루어 짐작할 수 있을 것이다. 이 시기에는 아직 오늘날의 광물학회 같은 관련 학술단체도 없었고 대학이나 관련 연구소도 본격적인 연구개발을 수행할 수 있을 정도의 인적 및 시설 기반을 갖추고 있지 못했기 때문에, 초창기의 연구는 대부분 야외조사, 현미경 관찰 및 화학분석에 의한 조사보고서 발표 수준의 학술활동 위주로 이루어질 수밖에 없었다. 또한 광업이 성행되었던 시절이므로 연구 대상물도 대개 광산에서 산출되는 금속광물 위주의 유용광물들에 대한 산출상태, 감정 및 기재에 관한 내용들이 주류를 이루었다. 이 당시에는 워낙 인적 기반이 취약했던 시기였던 관계로 연구 활동 면에서 과거 일제 시대보다도 못한 실정이었다. 연구 내용이나 접근방법론에 있어서도 광복 전의 일본인 학자들의 수준을 넘지 못하고 그들의 연구 기법이나 해석 방법을 답습하는 정도에 머물렀었다고 말해도 과언이 아닐 것이다.

이 같은 일제 시대 연구 수준에서 탈피하여 국내에서 현대광물학의 새로운 지평을 개척하게

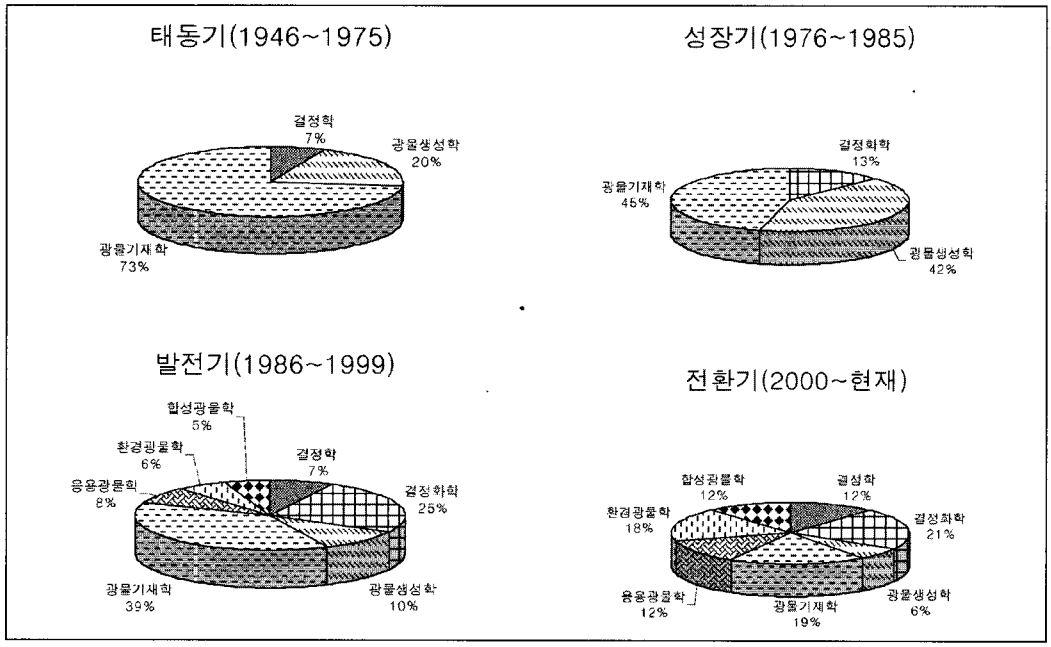


그림 1. 한국 광물학계의 발전단계별로 구분된 연구 주제의 변천 동향.

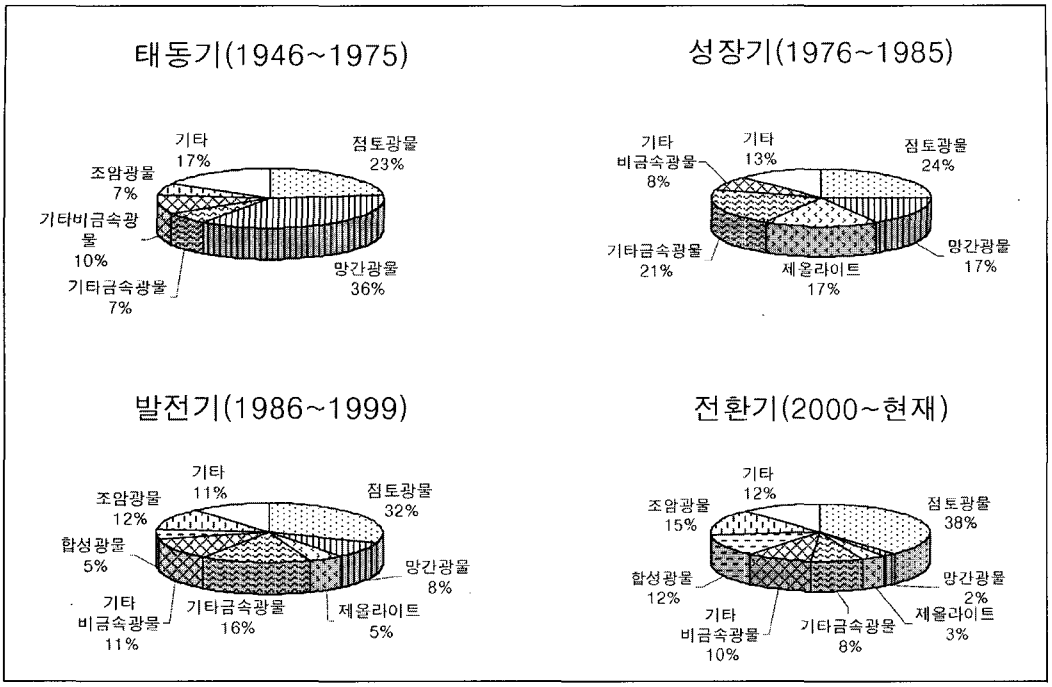


그림 2. 한국 광물학계의 발전단계별로 구분된 연구대상 광물의 변천 동향.

된 계기는 김수진 교수의 산화망간 광물에 관한 연구 활동에 의해서 이루어졌다. 김 교수는 1966년부터 결정상이 너무 다양하고 극미립질이어서 그 당시에는 다루기 매우 어려웠던 산화망간 광물을 꾸준히 연구하여 1975년에는 한국인으로서는 최초로 발견한 장군석을 국제광물학회연합(IMA)으로부터 신종광물로 공인받는 쾌거를 이룩했다. 김 교수는 산화망간 광물에 관한 일련의 연구 과정에서 X-선회절 분석은 물론 그 당시로는 국내에서 새로운 연구 기법인 시차열분석기(DTA)와 적외선흡수분광분석기(IR)와 같은 분석기기들을 효과적으로 적용하여 거둔 획기적인 연구 성과들을 국내외의 전문학술지에 60년대 후반부터 매년 연이어 발표함으로써, 1970년대 일약 국내의 광물학 수준을 한 단계 도약시켜 국제적 수준에 근접시키는데 결정적인 역할을 했다. 김수진 교수의 산화망간 광물 연구는 여기에서 머무르지 않고 계속되어 잘못 기재된 신종 광물인 다카넬라이트(dakanelite)를 재발견하여(1991) 수정하였을 뿐만 아니라, 2000년에는 또 다른 신종 산화망간 광물인 치무석(Zn-rancieite)을 국제학회에 보고하는 등 산화망간 광물에 관한한 세계적인 학자로서의 연구 활동을 그 동안 펼쳐왔다.

이 같은 산화망간 광물에 관한 연구 성과들에 의해서 김 교수는 한국광물학계를 대표하여 1976년도에 대한민국학술원상(저작상)을 수상하고 1994년에는 학술원 회원이 되는 개인적인 영예도 이루게 되었다. 또한 김수진 교수의 제자인 장세원 박사(한국지질자원연구원)와 최헌수 박사(한국지질자원연구원)에 의해서 80년대 말에서 90년대 초에 걸쳐 산화망간 광물들의 결정상 및 생성관계에 대한 연구가 이루어졌다. 이들은 또한 90년대 말에는 심해저 망간단괴에 관한 광물학적 연구를 공동으로 수행하였다.

김수진 교수는 1970년대 후반부터 점토광물

의 중요성을 인식하고 고령토와 벤토나이트를 중심으로 연구를 수행함으로써, 그 동안 동력자원연구소(현 한국지질자원연구원)에서 상기남 박사에 의해서 수행되어오던 하동-산청 고령토 연구와 더불어 국내에서 오늘날까지도 성행되고 있는 점토광물 연구에서 상기남 박사와 함께 선구자 역할을 했다. 1980년대에 해외에서 수학하고 귀국한 광물학자들(이정후, 문희수, 안중호, 황진연 등)이 모두 점토광물학을 전공하였고, 그 당시 김수진 교수의 제자로서 국내에서 석·박사 학위를 취득한 학자들(노진환, 유재영, 정기영 등)도 벤토나이트와 고령토에 대한 연구를 많이 하였다. 또한 1980년대 이르러 국내에서 전자현미경적인 연구방법론이 광물 연구에 적용될 수 있었던 점도 이 시기에 점토광물에 대한 연구가 국내에서 갑자기 활성화된 주요 요인이었다. 이에 따라, 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이, 80~90년대를 거쳐 오늘날에 이르기까지 국내 광물학계의 주요 관심 대상이 점토광물에 편중되는 양상이 초래된 것으로 보인다.

점토광물에 관한 연구 성향은 초창기에는 주로 유용한 점토 광상(예를 들어 고령토, 벤토나이트 및 납석 등)들에 대한 성인적 해석에 주력하였다. 김수진 교수 실험실은 점토 광상에 대해서 주로 산출상태, 광물상 및 조직적 해석을 통해 그 생성관계를 구명하려고 노력하였다. 이에 비해서 문희수 교수는 벤토나이트의 성인 연구에 국내 최초로 산소동위원소 연구방법론을 적용하였다. 또한 노진환 교수과 문희수 교수는 비슷한 시기(1983~1985)에 각각 국내외에서 별도로 벤토나이트의 주성분 광물인 스멕타이트(smectite)류 점토광물의 층간전하(layer-charge)를 유기 이온으로 치환시키는 방식으로 측정하여 이 점토광물의 광물특성 규명은 물론 생성관계에도 적용하는 연구를 시행하였다. 이 같은 연구들은 연구 관점에 있어서는 다르지만 2000년대 전후에 국내에서 응용광물학적으로 성행되었던 연구 주제인 소위 유기점토(organo-clay)에 대한 연구에 있어서 실험 방법론적으로 영향을 미친 것으로 볼 수 있다.

점토광물에 대한 연구는 퇴적암의 속성작용이나 저온 변성작용의 이해를 증진시키고자 하는 취지에서도 많이 이루어졌다. 1980년대 이정후 교수는 녹니석과 일라이트/백운모 간의 소위 혼합층상(mixed-layered) 구조형 점토광물들의 결정상 전이 관계를 투과전자현미경(High-resolution TEM)을 사용하여 연구함으로써, 이질 퇴적암의 저온 변성과정을 이해하는데 큰 도움이 되는 획기적인 연구 결과를 국외 저명 학술지에 발표했다. 또한 안중호 교수는 퇴적암 내에서 스멕타이트에서 일라이트(illite)로의 상전이 과정에서의 혼합층상 구조형 점토 광물상을 같은 방식으로 연구하여 이질 퇴적암류의 속성작용을 이해하는데 중요한 학술적 근거를 제공하는 논문들을 발표했다. 미국 미시간 대학에서 수학한 이 두 학자들의 국제적인 연구 성과와 더불어 80년도 말부터 90년대에 이르기까지 국내에서 점토광물에 대한 감정 및 분석을 통해서 속성작용 및 풍화작용을 해석하고자 하는 일련의 연구들이 이루어졌다.

대표적인 사례로는 노진환 교수가 수행한 우리나라의 제 3기층과 경상계 퇴적층의 속성작용에 대한 점토광물들 간의 상전이 관계의 이해를 통한 해석, 정기영 교수의 풍화작용과 고령토의 생성관계 연구, 문희수 교수와 송윤구 교수의 질석(vermiculite) 생성에 관한 연구, 이석훈 박사(한국기초과학지원연구원)의 화강암질 편마암의 풍화물에 대한 전자현미경적 연구 등을 들 수 있을 것이다.

1990년대부터 국내 대학과 연구소에 선진국 수준의 고가의 실험·분석 장비들이 구비됨으로써, 과거에는 사용하기 어려웠던 SEM, TEM 및 EPMA와 같은 전자현미경적 연구방법을 비롯하여 각종 화학분석장치 및 분광학적 기자재

를 이용한 연구방법들의 적용이 가능하게 되었다. 또한 광물학계 내에서도 광물에 대한 응용성 추구라는 시대적 요청에 부응하여 점토광물 연구에서 그 특성과 이종 성분(예를 들면 물과 중금속 이온 등)간의 반응 관계 등에 많은 관심을 갖게 되었다. 이에 따라 점토광물들의 흡착 특성, 층간치환 특성, 열적 안정성 등에 관한 연구들이 많이 이루어졌다. 이 시기에는 문희수 교수 연구진(송윤구 교수, 이수정 박사 등)을 비롯하여 황진연 교수, 노진환 교수 등이 점토광물의 열화학적 특성 및 상 안정성에 관한 실험적 연구들을 많이 수행하였다. 또한 환경 문제와 관련하여 점토광물과 오염 성분들 간의 흡착 관계에 대한 연구들이 문희수 교수의 연구진과 김영규 교수(경북대) 등에 의해서 활발히 이루어졌다. 특히 90년대 초에 미국(일리노이대)에서 수학하고 귀국한 김영규 교수는 점토광물들의 계면 특성 연구에 NMR 분석법을 적용하여 점토광물과 오염성분들간의 반응관계를 보다 본질적으로 세밀히 해석하는 연구를 많이 수행하였다는 점에서 특기할만하다.

그 외에 90년대 초에 미국(콜로라도광산대)에서 수학한 후에 강원대에 재직 중인 유재영 교수는 점토광물의 구조적 안정성을 열역학적 에너지 계산을 통해 해석하는 연구 방식을 국내에 처음으로 소개하였다. 또한 이성록 박사(한국지질자원연구원), 조현구 교수(경상대) 및 추창오 박사(안동대)는 김수진 교수 연구실에서 다양한 원암 조건에서 산출되는 국내산 납석에 관한 일련의 연구를 수행하였다. 90년대 말경에는 고상모 박사(한국지질자원연구원)와 이승엽 박사(한국원자력연구원)가 유기점토에 대한 연구 성과들을 국내외의 학술지에 발표하였고, 김수진 교수 연구실에서 학위를 마친 이수재 박사(한국환경정책평가연구원)와 김건영 박사(한국원자력연구원)는 각각 화강암의 풍화물과 물간의 반응 관계와 국내 활석에 대한 연구를 수행하였다. 이외에도 일일이 소개할 수 없을 정도로 많은 점토광물에 관한 연구들이 80년대부터 국내에서 활발히 진행되어 왔다.

김수진 교수는 그 제자인 노진환 교수와 함께 1980년도 초부터 지질학적으로나 응용 분야 면에서 중요한 광물인 제올라이트(zeolite)에 대한 연구를 국내에서 활성화 시키는데 선각자 역할을 했다. 노진환 교수에 의해서 주도된 제올라이트 연구는 국내의 제3기층에서 산출되는 10여종의 광종을 대상으로 많은 연구가 이루어졌다. 제올라이트의 생성관계는 물론 광물상, 결정화학적 특성, 열화학적 안정성, 흡착 및 양이온 교환 특성, 산업응용 평가 등에 이르기까지 광범위한 연구 내용들이 노진환 교수, 황진연 교수 및 김수진 교수의 연구진들에 의해서 이루어져 왔다. 아마도 제올라이트는 80~90년대를 거쳐 현재에 이르기까지 점토광물 다음으로 국내에서 다양한 주제로 많이 다루어진 광종일 것으로 여겨진다. 이 부문에서의 주요 연구 성과로는 노진환 교수에 이해서 이루어진 휼란다이트(heulandite)와 로오몬타이트(laumontite)의 상전이 관계의 석유지질학적 의미 해석, 진주암의 변질을 통해 본 제올라이트의 생성과정 해석 및 선상지-삼각주 퇴적계의 사암에서 처음 발견된 입상 제올라이트의 광물생성학적 의의를 다룬 연구 내용들이 국제 저명 학술지에 발표된 것을 들 수 있을 것이다.

광물 연구에 있어서 기본이 되는 결정구조 해석에 관한 연구는 그 동안 단결정 X-선회절 분석기의 동원이 어려웠던 관계로 초창기에는 다른 분야에 비해서 상대적으로 국내에서의 연구 활동이 부진했었다. 그렇지만 1990년대부터는 미국(일리노이대)에서 수학했던 김윤중 박사(한국기초과학지원연구원), 미국(하와이대)에서 수학한 김영호 교수(경상대), 미국(MIT)을 거쳐 서울대에서 학위를 마친 최진범 교수(경상대) 등의 연구 활동이 꾸준히 이루어져 왔다. 김윤

중 박사는 주로 장석류 광물의 미세구조 연구에 있어서 한국기초과학지원연구원에 설치되어 있는 국내 최고 성능의 투과전자현미경을 사용하여 심도 깊은 연구 결과들을 발표하였다. 충북대의 안중호 교수(충북대)도 투과전자현미경을 이용하여 변성작용과 관련된 광물들의 미세 구조상의 변화에 관한 연구를 수행하였다. 1990년대 초반에 노진환 교수(강원대) 등은 연옥질 투각섬석(nephritic tremolite)의 미세구조를 투과전자현미경으로 연구하여 국내에서 처음으로 혼성격자 구조형(pyriboles)의 존재를 학회에 보고하였다. 김영호 교수는 포항가속기 실험시설에 부착되어 있는 고성능 X-선회절분석 장치를 사용하여 초고압 환경에서 안정한 광물들의 상전이 관계를 연구하여 좋은 성과를 거두어 왔다. 스카른(skarn) 광물을 전공한 최진범 교수(경상대)는 통상적인 분말형 X-선회절분석 장치를 이용하여 리트벨트법(Rietveld method)으로 구조 검증(refinement)하는 효과적인 구조 해석법을 단결정 구조 해석이 불가한 연옥질 투각섬석같은 미립질 광물들에 적용하여 성공적으로 그 구조를 해석하였다. 또한 최 교수는 철을 함유하는 조암광물에 대해 Mössbauer 분광기를 적용하여 결정화학적 해석을 시도하는 연구기법을 국내에 처음 소개하고 관련 연구를 스카른 광물을 대상으로 수행하였다.

광물합성 분야에 있어서는 80년대 초에 캐나다(칼튼대)에서 수학한 김원사 교수와 독일(하이델베르그대)에서 학위를 마치고 귀국한 장영남 박사가 각각 충남대와 동력자원연구소에 관련 합성 시설을 갖추고 현재까지 연구를 활발히 수행해왔다. 김 교수는 초창기에는 주로 백금족 광물들에 대한 합성 연구를 수행하였지만, 80년도 후반부터는 보석광물학 연구에 주력하면서 큐빅지어코니아(cubic zirconia)같은 인조 보석물질에 대한 합성 연구를 수행하기도 하였다. 이에 비해서 장영남 박사는 주로 TiO_2 계열의 보석광물(rutile 등)들의 단결정 합성 연구에서 두드러진 연구 활동을 수행해 오다가 최근 들어서는 제올라이트나 스멕타이트류 점토광물 합성 연구에 주력하고 있는 것으로 알려져 있다. 노진환 교수는 90년대에 천연 유리질 암석과 규질이암 같은 유휴 천연물질을 출발물질로 하여 제올라이트를 효과적으로 합성하는 연구를 국내에서 처음으로 수행하였고, 문희수 교수 연구진은 비산회(fly ash)로부터 제올라이트를 합성하는 연구를 수행한 바 있다.

응용광물학적 연구는 초창기에는 거의 이루어지지 않았지만, 90년대에 이르러 그 중요성이 부각됨에 따라 관련 연구들이 많이 수행되었다. 최근에 성행된 응용광물학 분야의 연구 활동은 대개 환경광물학(Environmental Mineralogy) 분야와 산업광물학(Industrial Mineralogy) 분야로 크게 나누어 볼 수 있다. 김수진 교수와 문희수 교수의 연구진들에 의해서 주도된 환경광물학 분야의 연구 활동은 주로 수권과 토양 내에서의 광물, 물 및 오염 성분들 간의 상호 반응 관계를 다루는 내용이 주류를 이루었다. 이들 외에도 강원대의 유재영 교수는 특히 산성배수 환경과 관련된 철-알루미나 황산염 광물질의 상안정 관계를 다루는 연구를 수행하였다. 그렇지만 이들의 연구 결과는 어떤 의미에서는 환경지구화학적 주제를 취급하는 것으로 간주될 수 있을 정도로 인접 분야와의 구분이 애매한 상황이다. 경북대의 김영규 교수는 전술한 바와 같이 주로 점토광물의 계면 특성과 연관된 환경광물학적 연구를 최근에 활발히 수행하고 있다. 그밖에 안동대의 정기영 교수는 황사를 대상으로, 한국기초과학연구원의 윤혜온 박사는 탄산염 광물과 중금속 이온과의 흡착관계로, 그리고 경상대의 조현구 교수는 황토를 주제로 환경광물학적으로 연구하여 최근에 흥미로운 연구 성과들을 내놓은 것이 이채롭다. 노진환 교수에

의해서 주도된 산업광물학 분야는 2000년에 강원대에 설립된 국가지정연구소재은행인 산업광물은행의 연구 사업과 더불어 최근에 크게 활성화 되었다. 주로 점토광물, 제올라이트, 석회석 등에 대한 산업응용 목적의 광석 평가와 관련된 광물학적 기반지식을 다루는 이 연구 분야는 선진 외국에서도 아직 초보적 단계에 머무르고 있는 신학문 분야이지만, 광물학의 실용성 제고 측면에서 90년대부터 김수진 교수와 노진환 교수에 의해서 그 중요성이 강조되어 왔다. 노 교수는 주로 제올라이트와 각종 점토광물들의 산업응용성 제고를 위한 응용광물학적 연구를 90년대 후반부터 수행해 왔고, 최근에는 석회석의 응용과 관련된 광물공학적 연구를 통해서 새로운 연구 결과들을 발표한 바 있다. 또한 부산대의 황진연 교수와 한국지질자원연구원의 고상모 박사도 주로 벤토나이트, 납석 등과 같은 점토광물 자원의 응용광물학적 특성을 규명하는 연구를 최근에 많이 수행하였다.

그림 2의 통계 자료에서 알 수 있듯이, 한국광물학계는 전통적으로 망간 광물을 제외한 주요 금속광물에 관한 연구가 상대적으로 비금속광물의 경우에 비해서 부진하였다. 이는 비단 국내뿐만 아니라 전 세계적인 추세로서, 금속광물이 구조적 다양성, 광물 특성 및 지질학적 의의 면에서 점토광물이나 조암광물 등과 같은 비금속 광물들에 비해 상대적으로 광물학자들의 관심에서 멀어져 있었기 때문이다. 뿐만 아니라 80~90년대에 광물자원으로 대표되는 이 금속광물들에 대한 국가 경제적 차원에서의 중요도가 선진국을 중심으로 현격히 저하된 것에도 기인한다. 그렇지만 80년대 초에 일본(와세다대)에서 수학한 이현구 교수(충남대)와 최선규 교수(고려대) 그리고 고려대에서 수학한 박맹언 교수(부경대)는 꾸준히 국내 광상의 주요 금속광물에 관한 연구를 수행하여 국내외에 많은 논문들을 발표해 왔다. 특히 최선규 교수는 지금까지도 금 · 은 광물들에 대한 상안정 관계와 광물생성학적 연구를 독보적으로 수행하여 좋은 연구 성과를 거둔 것으로 알려져 있다. 이 밖에도 80년대 초에 한국동력자원연구소에 재직 중이던 이동진 박사에 의해서 이루어진 옥천계 우라늄 광물에 관한 연구와 경북대 이재영 교수에 의해 연구된 황화광물에 대한 합성 및 상안정 연구도 초창기 광물학계에서 이루어진 주요 연구 사례이다.

향후 발전 방향 및 전망

근래에 들어 전 세계적으로 과학기술계에서 인간중심의 가치관에 입각한 국가적 관심과 지원의 편중 현상이 심화되고 있는 실정이다. 국내에서도 국민의 건강과 복리에 얼마나 가까운 학문 분야인 지에 따라 그 학문적 중요성이 마치 서열화 되고 있는 듯한 인상을 갖게 할 정도로 과학기술과 관련된 정부의 모든 정책과 지원은 물론이고 일반 국민들의 관심 조차도 차별화되고 있다. 이에 따라 자연의 심오한 이치를 따지는 전통적인 자연과학 분야는 뒷전으로 물러나 있게 되고, 인간에게 직접적인 실익을 가져다줄 것으로 기대되는 실용적 학문 분야들과 인류의 복지를 위한 획기적인 기술발전을 내세우는 소위 '첨단과학' 분야들이 과학기술계의 전면에 배치되어 각광을 받기에 이르렀다. 이 과정에서 과학기술계의 학문 체제가 재편되면서 전통적인 학문 분야의 경계는 더 이상 의미가 없어지고 학문 간의 경계분야나 융합분야의 출현이 이루어지게 되었다. 이 같은 상황 속에서 본질적으로 지구를 중심으로 한 자연에 대한 이해를 추구하는 학문 분야인 지질학에 속하는 학문 분야들은 현재 상당한 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이 시대의 광물학은 연구 목적과 주제 면에서

그 학문적 실용성 제고를 위한 혁신적 발전 방안의 모색이 필요한 입장에 놓여있다. 광물학에는 지각구성 물질의 이해와 광물질의 산업응용이라는 서로 다른 개념의 학술적 양면성이 있다. 순수 지질학적 측면에서의 전자의 개념은 그 동안 인접 분야인 암석학, 광상학 등에 널리 적용되어 지질학의 발전에 큰 기여를 해온 것이 사실이지만, 최근에는 동위원소 분석과 해석론을 앞세운 지구화학에 의해서 그 역할이 대체된 상황이다. 이에 따라 구라파와 일본 학계를 중심으로 최근에는 광물의 또 다른 측면, 즉 물질과학적 중요성에 입각한 연구가 점차 활성화되는 경향이 있다. 이 같은 배경 하에서 국내에서도 이미 이 같은 추세에 부응하여 일부 학자들이 광물의 환경과 산업응용 측면에서의 중요성을 다루는 일련의 연구들을 진행해 왔다는 사실은 매우 고무적이다.

전통적으로 지구과학적 의의 도출을 위한 광물학 연구를 고수해온 미국 광물학계는 대체로 특수한 지질환경에서의 광물의 본질, 생성 및 거동에 대한 연구에 치우치는 동향을 보인다. 즉, 이미 진부해진 지각 상에서의 연구 영역에서 탈피하여 지하 심부의 초고압 환경은 물론이고 외계의 행성 환경에서의 광물들에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 지구 내부의 물성 조건을 이해하기 위한 초고압 환경 하에서의 광물 연구가 실험적으로 한계에 달하면, 앞으로는 외계권 물질의 이해 증진을 위한 물과 산소가 결핍된 환경 하에서의 광물상 및 광물 거동에 관한 연구가 활성화될 것으로 전망된다. 최근에 미국의 일부 학자들이 과감하게 도전하고 있는 생광물학(Biomineralogy) 분야와 나노광물학(Nanomineralogy) 분야의 연구들은 전 세계 광물학계의 주요 관심사가 되고 있다. 지금까지의 광물생성론은 전적으로 물리화학적 해석에 의해 정립된 것이지만, 생화학적 또는 미생물학적 요인의 역할과 관여 정도에 있어서는 그 동안 그 개연성은 인정되었지만 간과되어 온 경향이 있었다. 앞으로 이에 대한 기초적 연구 성과가 이룩되면 생광물학은 광물학의 유망한 새로운 연구 분야가 될 것으로 기대된다. 또한 나노광물학 분야의 연구도 환경 분야를 중심으로 활성화되기 시작한 상황이다. 국내에서도 연세대의 송윤구 교수가 이에 대한 연구를 본격적으로 수행할 준비를 하고 있다. 21세기 광물학의 한 축을 이룰 것으로 기대되는 이 두 신학문 분야의 출현은 한동안 정체되어 있던 지표 환경 하에서의 광물학 연구 분야가 앞으로 획기적으로 발전할 수 있는 새 지평을 여는 계기가 될 것으로 예측된다.

광물자원의 개발 및 응용과 관계된 연구 분야는 현재 과도기적 상황에 놓여 있는 것으로 보인다. 최근에 탐광 및 개발 위주의 종래의 광업에서 응용광물학적 지식기반에 의거한 광물산업으로 전환되는 과정에서 산업광물학과 같은 새로운 실용적 학문 분야가 금세기 들어 교과서 형태의 단행본이 발간될 정도로 그 학문적 면모를 갖추게 되었다. 주로 영국을 비롯한 구라파의 학계에서 성행되고 있는 산업광물에 대한 연구 활동은 국내에서도 이미 한국광물학회와 강원대 노진환 교수가 운영하는 산업광물은행을 중심으로 어려운 여건 하에서도 꾸준히 이루어지고 있다. 또한 이와 더불어 그 동안 침체되어 있던 전통적인 광물자원 분야에 있어서도 최근 들어 관련 학문 분야의 중요성이 점차 증대될 것으로 예측된다. 중국과 인도 등과 같이 광물수요에 있어서 막대한 잠재력을 지닌 개발도상국가들이 빠르게 산업화 되는 과정에서 머지않은 장래에 전 세계적으로 자원대란에 직면할 것으로 판단된다. 따라서 앞으로는 광물자원의 효율적 탐사, 개발 및 활용과 연관된 광물학적 연구들이 다시 활성화될 것으로 기대된다.

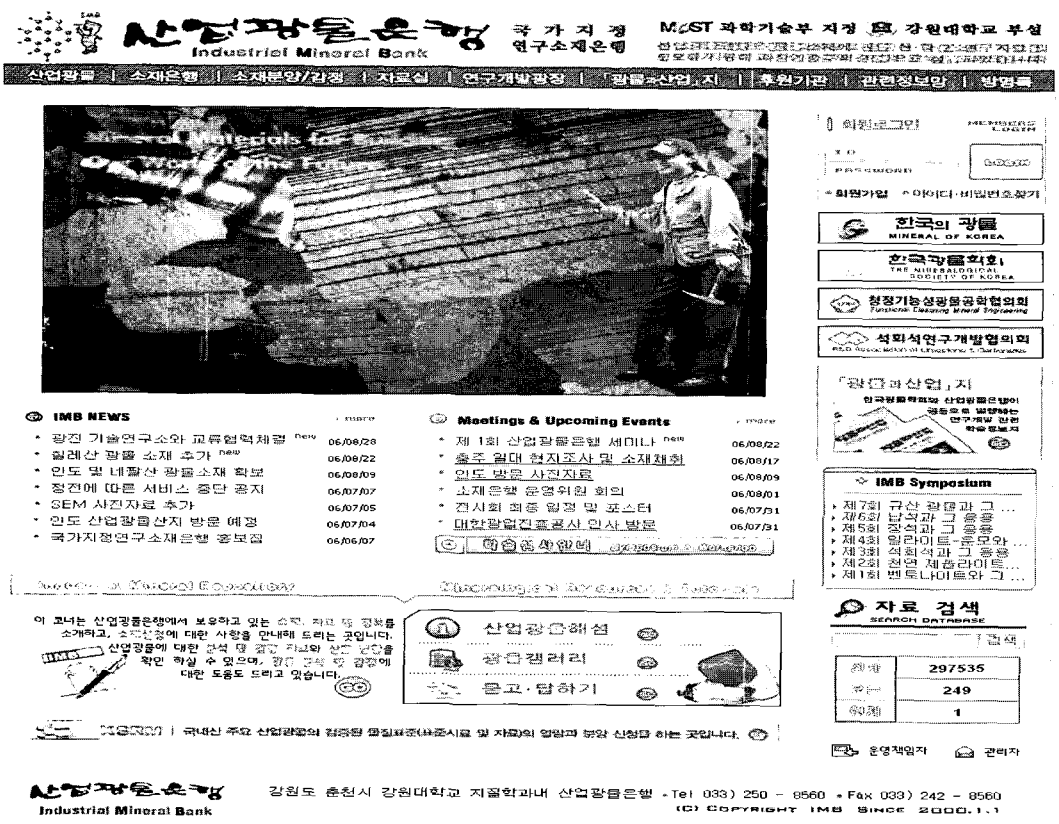
앞으로도 광물학의 발전 방향은 당분간 과거의 틀(즉, 지질학의 세부학문 분야)을 기본적으

로는 유지하는 기조에서 설정될 것으로 보인다. 그렇지만 시대적 상황으로 보아 과거보다는 상대적으로 실용적 응용분야에 대한 연구가 중시될 것으로 여겨진다. 이에 따라 생광물학, 나노광물학 및 산업광물학 같은 응용 분야의 발전이 보다 빠르게 이루어질 것으로 예견된다. 이 과정에서 광물학은 전통적인 지질학의 범주에서 부분적으로 탈피하여 앞으로는 재료공학, 화학공학, 환경학, 생명과학 등의 관련 학문 분야들과 연계된 융합연구 분야의 활성화가 이루어질 것으로 예상된다. 또한 전자현미경과 원자현미경의 해상 기능의 발달과 같은 실험방법론 상의 기술적 발전은 광물학 분야에서 예기치 못한 중요한 연구 성과가 도출될 수 있을 것이다. 이 같은 극미세 관찰 및 영상 기술의 발달은 궁극적으로는 나노광물학 분야 등과 같은 미시적 연구 분야에 있어서 새로운 지평을 여는 것과 같은 획기적인 발전을 가져다 줄 수도 있을 것으로 전망된다.

참고 문헌

김수진교수정년퇴임기념회, 2004, 김수진교수 광물학연구 목록집. 서울대학교 대학원 지구환경과학부 광물학연구실, 324 p.

대한지질학회, 1997, 대한지질학회 50주년사 자료집. 대한지질학회, 297 p.

학술원, 1975, 학술총람 제 10편(지질학편), 대한민국학술원, 464 p.

산업광물은행 2006년도 홈페이지 http://www.kimb.or.kr