

21세기 광물자원과 우리의 환경

오민수

(한국과학기술정보연구원, mihns00@kisti.re.kr)

ABSTRACT

As in the past, we are concerned today with the magnitudes of mineral resources and the adequacy of these resources to meet future needs. In looking at global resource issues, we should consider the need for the resource, its supply, and the environmental consequences of using it. The need for a resource can become a resource dependency, especially as the global population expands and each of us becomes increasingly dependent upon hundreds of natural materials. Therefore, our great mineral consumption makes the human population a true **“Geologic Force”**, which will be even more significant in the future when the global population is projected to reach alarming proportions.

Although our supplies of mineral resources probably will be sufficient for the 21st century, the uneven distribution of minerals in the Earth's crust almost certainly will continue to be a major problem. The most likely result will be major shifts in both prices and sources of supply of many mineral resources. As for energy resources, we must avoid an obsessive dependency on one fuel and expand instead to other energy resources. Finally, because the use of resources affects the environment, we need to focus on resource exploitation and global pollution, particularly in regard to ground water and arable land. We must manage our resources so as to be in balance with our environment.

And the accelerated industrialization of South Korean economy over the last three decades has resulted in the mass consumption of mineral commodities. South Korea has around 50 useful mineral commodities for the mineral industry, among 330 kinds of minerals described. The component ratio of the mining industry sector of the gross national production(GNP) in South Korea dropped from 1.2% in 1971 to 0.34% in 1997 due to the rapid growth of other industries in the country. During the period from 1971 to 1997, the average growth rate of mineral consumption in South Korea was 9.13% yearly and that of GNP per capita was 14.97%. The mineral consumptions per capita showed a continual increase during the last 30 years as follows(parenthesis: GNP per capita); 0.99 metric tons in 1971(\$289), 3.83 metric tons in 1989(\$5,210), 6.11 metric tons in 1995 (\$10,037), and 6.66 metric tons in 1997(\$9,511). The total amount of mineral consumption in South Korea was 33 million tons of 32 mineral commodities in 1971, and 306 million metric tons of 47 mineral commodities in 1997.

서 언

자원(資源, resources)이란 “인간에게 유용(有用)하고, 가용(可用)하며, 그 공급이 제한되어 있는 것”으로 정의 할 수 있다. 이렇게 이론적으로 정의된 자원은 인간자원, 물적자원, 생물자원, 무생물자원, 유형자원 및 무형자원 등을 모두 포함하는 광의의 자원임에 반하여, 좀 더 현실적이고 일반적으로 정의된 자원은 협의의 자원으로서 주로 지하에 부존 하는 고갈성 자원인 광물 및 에너지자원을 의미한다.

약 1세기 전(1891) 미국의 수도 와싱턴에서는 제5회 만국지질학회(International Geological Congress : IGC)가 개최되었다. 당시의 세계는 아직 좁았으며, 생활의 리듬은 아주 여유가 있었고, 주위의 변화 속도도 완만하였다. 그로부터 약 100년 후 같은 장소에서 열렸던 제28회 IGC(1989)에는 6,000명의 지질학자가 등록을 한 것에 비하면, 당시의 참가자는 2~300명 정도밖에 안되었고, 그것도 서로들 잘 아는 사이였을 뿐만 아니라 와싱턴의 한 정부청사 앞 계단에서 한 그룹으로 기념촬영도 가능할 정도였다.

지난 한 세기 동안 세계와 우리들의 생활은 큰 변화를 이루어 온 바, 제5회 IGC에서 논의되었던 문제는 오늘날에 나타나는 문제와는 큰 차이가 있었을 것이라는 것은 누구든지 상상할 수 있을 것이지만 실제로는 사실과 다르다. 그 이유는 19세기말 지질학자들은 자동차, 비행기, 플라스틱, 가정전자제품 및 그 외 여러 가지 자원소비형의 공업제품(당시로서는 불가사의라고 생각)은 아직 알려지지 않았음에도 불구하고 중요한 광물자원의 양에 대해서는 미리 걱정을 하고 있었으며, 특히 석탄과 철은 관심의 표적이었다.

제5회 IGC가 개최 된지 10년이 지날 무렵 광물자원의 고갈문제는 국내 또는 국제정치문제로 대두되게 되었다. 1908년 미국 내에서 이에 관한 문제가 절정에 달하게 되어, 백악관에서 열린 회의에서 Andrew Carnegie(1909)는 이렇게 이야기하였다.

“나는 우리나라(미국)의 철광석자원의 공급이 계속해서 감소되고 있는 점에 마음이 아팠습니다. 전에는 풍부하다고 생각되었던 고품위 철광석이 차세대에서 바닥을 드러내고, 금세기 후반에는 저품위 광석 밖에 남지 않는다는 것이 알려지는 것은 여러분에게 기쁜 일이 아닐 것입니다. 그러나 우리나라의 번영의 기초인 원료문제를 오랜 세월 취급해온 실무자로서 지금은 내일의 걱정을 하여야 할 때가 되었다는 것을 저는 판단합니다.”

이상은 미국 Yale대학의 Skinner교수가 Episode지에 발표(1989)한 “21세기의 자원 : 공급은 수요를 따를 수 있을까?(Resources in the 21st century : Can supplies meet needs?)”의 서두 부분이다.

Skinner교수가 지적한 바와 같이 지구상의 자원이 고갈될지도 모른다는 것은 지난 세기동안 전문가에 의해 계속해서 경고되어 왔다. 그럼에도 불구하고 적어도 선진국에 사는 우리들은 현재 풍부한 물질생활을 향유하고 있다. 이는 전문가에 의한 엄청난 양의 새로운 광물자원의 탐사실적, 채굴방법과 선광·정련등의 광석처리법의 눈부

신 기술진보가 있었기 때문이다. 그리고 현재의 생각 있는 사람들의 고민은 자원의 고갈이 아니고, 오히려 자원의 소비에 의한 지구환경의 악화와 점점 벌어져 가는 선진국과 개발도상국간의 생활수준의 격차인 것이다.

광물자원은 왜 고갈되지 않는가?

현재 지구상의 인류는 여러 가지 형태로 원소주기율표상에 있는 대부분의 원소를 생활에 이용하고 있다. 광물자원은 지구상에 지역적 편재성을 가지고 분포 하기때문에 세계 어느 나라도 자원에 관한 한 완전자급을 이루지는 못하고 있다. 광물자원이 풍부한 소련도 이제는 예외가 될 수 없다.

지구상의 인류는 연간 1인당 평균 10톤의 광물자원(에너지자원 포함)을 소비하므로 연간 총 500억 톤을 소비하고 있다. 선진국에 있어서의 소비량은 좀 더 많아서 세계평균치의 2배에 가깝다. 표 1에 표시한 바와 같이 11개 광종에 대한 1987년도 국민 1인당 광물소비량은 미국이 17.3톤, 일본이 14.5톤이고 한국은 4.5톤이다. Skinner(1989)의 계산에 의하면 지구상에서 1년 간 소비되는 광물자원의 총량(약 500억 톤)은 지구상의 하천이 1년 간에 바다로 옮기는 퇴적물의 양(165억 톤)의 3배가되는 것을 지적하고, 이는 인간의 활동이 "제1급의 지질영력(地質營力)"이 되었다고 한 바 있다. 1891년에는 연간 1인당 광물자원의 소비량은 2톤 정도로 추정되므로, 1세기동안에 5배로 증가한 것이 된다. 그러므로 광물소비량은 세계의 인구증가와 함께 계속 증가할 것이므로, 앞으로 광물자원에 관한 문제는 선진국뿐 만 아니라 전 지구적으로 해결하여야 될 중대한 문제인 것이다.

제5회 IGC(1891) 개최 시 지구상 인구는 17억이었으나 제28회 IGC가 개최된 1989년에는 인구가 50억을 넘어 60억에 근접하고 있었다. 세계 인구 증가율은 대단하여 사망율을 감안하여도 매분 당 170명이 증가하여 1시간이면 10,200명의 세계인구가 증가한다. 미국의 인구 전문가인 Paul Demeny(1984)에 의하면 2,000년에는 세계인구가 70억이 될 것이며, 2,100년에는 120억에 달할 것이라고 발표한 바 있다. 과연 2,100년경에는 년 간 광물자원 소비량이 얼마나 될 것인가 상상할 수 있을 것이다.

1830년에서부터 1980년까지 150년 간 세계 동(Cu) 생산량의 변화를 보면, 생산량(소비량)이 기하학적으로 급격한 증가추세를 보이는데, 이러한 양상은 아연(Zn)이나 연(Pb)과 같은 다른 금속자원에서도 동일한 양상을 보이고 있다. 이와 같은 경향을 보면 누구든지 자원의 고갈문제를 생각하지 않을 수 없을 것이다.

사실상 자원이 오래지 않아 고갈된다는 경고는 최근 수10년 간 수차에 걸쳐 제기되어 있었다. 그러나 실제로는 채굴된 광석량 이상의 광량이 항상 발견되어 그 경고는 허공에 떠버리고 말았다.

표 1. 1987년도 한국, 일본 및 미국의 국민 1인당 광물자원 소비량 (단위 : Kg).

광종	국가명	한 국	일 본	미 국
1. 석재		46	5,160	4,900
2. 골재		1,547	2,700	3,770
3. 시멘트		547	653	383
4. 철광 및 철강		428	2,260	562
5. 알루미늄		0.7	18	22
6. 동광		3.4	12	9
7. 연광		0.3	2	5
8. 아연광		5.3	6	6
9. 석유		873	2,430	3,100
10. 석탄		1,023	884	2,600
11. 천연가스		41	416	1,950
총 계		4,514.7	14,541	17,307

* 자료 : ① Skinner(1989) : Resources in the 21st Century : Can Supplies Meet Needs?, Episodes, v. 12, n. 4, 267-275.

② 通商産業部(1988) : 鑛産物需給現況.

③ 통계청(1991) : 통계년감.

④ 李信雨(1992) : 國內石材産業 育成方案研究. 에너지經濟研究院, 研究報告書, 92-05, 137pp.

이와 같은 역사적인 사실은 우리들을 안심시키지만 그러나 낙관만 하고 있기 전에 과거 1세기간의 광물자원의 변화추세를 살펴볼 필요가 있다.

1880년에서 2000년까지 120여 년간의 변화양상을 살펴보면, 동광석의 품위변화가 급격히 하강하면서도 생산량은 증가하였다. 일반적으로 저품위광 등 조건이 좋지 않은 광석으로부터 금속을 회수하는 경우에는 생산비의 상승을 부르는데, 이 기간에 비철금속-특히 동가격의 변화를 보면 오히려 떨어지고 있다. 이 경우 생산비의 상승을 억제할 수 있었던 것은 풍부한 석유에 의한 값싼 에너지의 공급이 있었고, 또한 노천(open-pit) 채굴법과 선광·정련등의 광석처리법에 눈부신 기술진보가 있었기 때문이다.

어떤 경제학자는 “지구는 광물로 되어 있으므로 광물자원이 고갈되는 일은 없다”라고 하였다지만, 이는 어떤 의미에서는 진가일 수도 있다. 예를 들면 지구상 육지부분의 심도 2km까지의 지각 중에만도 49×10^{12} 톤의 동이 포함되어 있다는 계산이 나오기 때문이며, 이는 현재 동 소비량의 460만 년 분에 해당되는 양이다(Sato, 1992). 그러므로 현재의 기술로도 생산비를 무시한다면 보통의 암석으로부터 동(Cu)을 추출할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 자원은 그 정의상 경제성이 있다는 것이 필요하며, 높아야 수10ppm의 동을 함유할 뿐인 보통의 암석이 미래에 있어서의 동자원이 된다는 것은 있을 수 없다고 본다. 보다 저품위의 광석을 채광함으로써 생산량을 늘려온 과거

의 역사를 쉽게 미래로 돌리는 것은 그 경제학자와 같은 잘못을 일으키는 결과가 될 것이다.

한국의 국민 1인당 광물자원 소비추이

국가 경제의 발전기였던 최근 30여 년 간 국내 광물자원의 소비추이를 뒤돌아보는 것은 마치 거울에 비친 자기 모습을 보듯 그간의 우리 나라의 경제발전 단계를 잘 보여주고 있으며, 21세기 미래를 대비하는데 필수적인 기초자료가 될 것이다.

1971년 우리 나라 국민 1인당 GNP가 289\$이었으며 국민 1인당 광물자원 소비량은 0.99톤이었다. 국민 1인당 GNP가 500\$에 달한 1974년도(541\$)의 국민 1인당 광물자원 소비량은 1.33톤으로 증가하였고, 국민 1인당 GNP가 1,000\$에 달한 1977년도(1,011\$)에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 1.86톤으로 증가하였으며, 국민 1인당 GNP가 2,000\$에 달한 1983년도(2,014\$)에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 2.65톤으로 증가하였으며, 국민 1인당 GNP가 5,000\$에 달한 1989년도(5,210\$)에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 3.83톤으로 증가하였으며, 국민 1인당 GNP가 6,000\$에 달한 1991년도(6,757\$)에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 4.56톤으로 증가하였고, 국민 1인당 GNP가 7,000\$에 달한 1993년도(7,484\$)에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 5.52톤으로 증가하였으며, 국민 1인당 GNP가 8,000\$에 달한 1994년도(8,467\$)에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 5.79톤으로 증가하였으며, 국민 1인당 GNP가 10,000\$에 달한 1995년도(10,037\$)에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 6.11톤으로 증가하였고, 1997년도에는 환율 인상으로 국민 1인당 GNP가 9,511\$로 다소 하향하였으나 국민 1인당 광물자원 소비량은 6.66톤으로 증가하여 1971년도에 대비한다면 약 7배 증가하여 국가 전체적으로는 총 3억 여 톤의 광물자원을 소비하였다(그림-1).

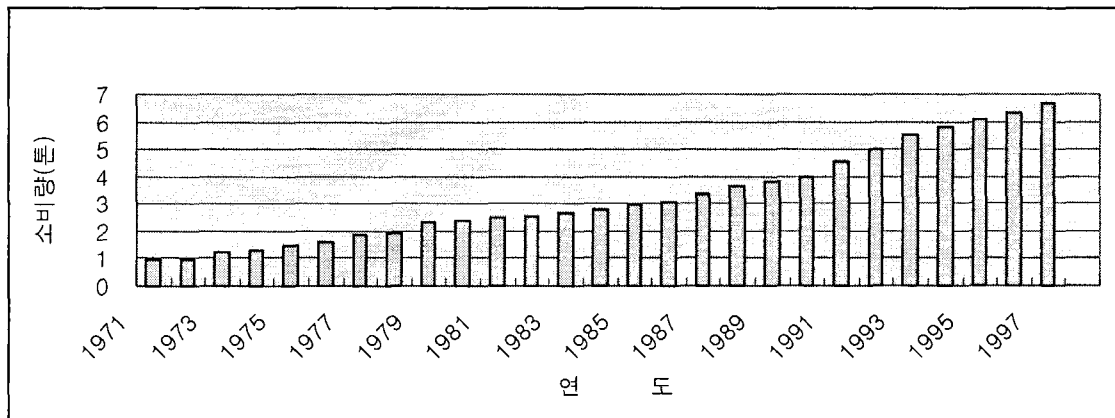


그림 1. 한국의 국민 1인당 광물자원 소비추이

특히 1997년도의 경우 금속광의 수입의존도가 99.23%로 거의 전량을 외국에서 수입하였으며, 유연탄, 석유, 및 천연가스 등도 전량 수입하였고, 비금속광의 수입의존도도 24.32%인 점을 감안한다면 총 소비량 3억 620만 톤 중 그 2/3 가 넘는 2억 2,340만 톤은 외국으로부터 수입을 한 것이다. 이와 같이 매년 광물자원 소비량은 급증하는 반면 국내 생산량은 담보상태를 지속하고 있는 한, 앞으로 지속적인 국가 경제발전을 위하여서는 해외광물자원개발이 활성화 되어야한다는 것은 자명한 결론인 것이다.

다소 통계자료가 불충분 하지만 석재자원과 골재자원을 포함하여 광물자원 소비추이를 관찰하면 1986년에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 4.85 톤이었고, 국민 1인당 GNP가 5,000 \$을 넘은 1989년도에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 6.20톤으로 증가하였고, 국민 1인당 GNP가 7,000 \$을 넘은 1993년도에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 8.99톤으로 증가하였고, 국민 1인당 GNP가 10,000 \$을 넘은 1995년도에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 9.95톤으로 증가하였고, 1997년도에는 국민 1인당 광물자원 소비량이 11.36톤으로 증가하여 연간 국내 광물자원 총 소비량은 무려 5억 2,249만 톤에 달하였다. Skinner(1989)에 의하면 세계 1인당 광물자원 평균 소비량이 10톤이므로 우리나라도 이제 세계 평균치를 초과하여 선진국을 향하고 있음이 증명된 셈이다.

미래의 광물자원과 에너지자원은?

장래의 광물자원의 생산과정에서는 피할 수 없이 닥쳐올 저품질화가 진행될 것이므로, 광물자원의 원활한 공급을 위해서는 생산비를 감소시킬 수 있는 기술의 발전은 물론이고 값싼 에너지의 공급은 더욱 필수적일 것이다. 광석을 채굴한 후 여러 가지 과정을 거쳐 유용금속을 회수하기까지의 생산비에는 많은 요소가 포함된다. 또한 전체 생산비중에서 각 요소의 비율은 각 광상의 품위와 존재상태에 따라서 다르게 된다. 국가별 광종별로 생산비를 살펴보면 아래와 같다.

동(Cu)광의 경우는 캐나다가 선풍비와 정련비가 모두 높는데 이는 복잡한 유화광을 처리하고 있는 광산이 많기 때문이다. 그러나 그 생산비가 높은 것은 광석처리 중에 회수되는 부산물의 이익(byproduct credits)에 의해 보충할 수가 있다. 호주에서는 채광비와 선풍비가 각 국 중 최저이다. 이것은 호주에서 최대의 동광산인 "Mount Isa"의 광석이 Cu 3.5%로 고품위이며 또한 효율이 높은 새로운 광산인 것을 반영하고 있다.

금(Au)에서는 남아공의 갱내굴 광산의 생산비가 압도적으로 낮는데, 이는 광석의 품위가 평균 Au 7.7g/t으로 높고, 또한 값싼 노동력 때문이다. 미국의 경우는 Au 2.0g/t 정도의 저품질 광산이 많기 때문에 선풍비 특히 파쇄비가 높다. 금광의 경우는 정련비에 비하여 선풍비와 채광비의 비율이 대단히 큰 것이 특징이다.

알루미늄(Al)은 동(Cu)의 대체로서 알루미늄을 사용할 경우 또는 가장 일반적으로, 유화광물 대신에 산화광물이나 규산염광물로부터 금속을 추출하는 경우의 생산비를 보면 정련비가 극단적으로 높아지고 있다. 이러한 생산비는 에너지가 차지하는 부분과

인건비로 구성되지만 그 대부분은 에너지비가 차지하고 있다.

다음으로는 금속 1톤을 생산하기 위하여 광석품위의 저하에 따라 필요한 에너지가 어떻게 증가하는가를 살펴보면, 동(Cu)의 경우는 광석품위가 내려감에 따라 서서히 상승하고 있는 에너지량이 품위 Cu 0.3% 부근에서 급격히 상승하고 있다. 동과 알루미늄의 필요 에너지를 비교하면 0.1%의 동광석으로부터 동을 회수하는 에너지는 보키 사이트로부터 알루미늄을 회수하는 에너지와 거의 같게 된다. 이와 같이 저품위광을 채광하지 않으면 안될 시기에는 동수요의 대부분은 알루미늄에 의해 대체되고, 대체할 수 없는 부분에만 고가격의 동이 사용될 것으로 예측된다.

Skinner(1976)는 "A second iron age ahead?"라는 논문에서 자원으로 동, 연, 아연과 같은 지구화학적으로 그 함유량이 낮은 금속에는 "광물학적 장벽(mineralogical barrier)"이 있는 것을 지적한 바 있다. 다시 말하면 현재 채광되고 있는 광석 중에는 이러한 금속은 주성분으로서 유화광물에 농집 되어 있다. 한편 일반 암석 중에는 이들 금속은 규산염광물의 주성분 원소를 치환해서 조암광물 중에 약간씩 포함되어 있다. 따라서 광석품위가 점점 내려가 어느 한도를 넘으면, 우리가 목적으로 하는 금속의 광물학적 존재상태가 크게 변화하는 것이다. 이 한도가 광물학적 장벽이며 금(Au), 우라늄(U) 및 희토류(REE)광 등 몇 개 광종을 제외하면 그 품위의 한계점은 0.01~ 0.1% 정도에 있다고 되어있다. 이와 같은 광물학적 장벽은 우선 우리에게 유용한 금속이 다량으로 조암광물 중에 분산되어 존재하기 때문에 선광에 의해 크게 품위를 향상시킬 수가 없으며, 가능하다고 하면 막대한 에너지를 필요로 하기 때문에 이 품위의 한계는 주로 에너지 cost면으로부터 자원공급의 커다란 장벽이 되는 것이다. 이상의 내용을 종합하여 Sato(1992)는 21세기의 광물자원의 모습을 다음과 같이 예상하고 있다.

우선 광석의 품위는 서서히 저하되지만 공급은 충분할 것이며, 생산비의 상승이 예상되지만 적절한 기술의 진보가 있으면 충분히 흡수할 수 있을 것이다. 광석품위가 Cu 0.3% 까지 내려가면 에너지비의 증대 때문에 가격의 상승이 시작되어 철(Fe), 알루미늄(Al), 티탄(Ti) 및 세라믹 등의 지구화학적으로 풍부한 자원에 의해 대체화가 촉진 될 것이다. 동시에 에너지비와 환경보호의 압력이 자극이 되어 지하 수km의 심부 고품위 광상의 탐사와 개발이 이루어 질 것이다. 더욱이나 앞으로 닥쳐올 Green Round의 여파로 환경과피방지의 입장에서 본다면 지표부근의 저품위광의 대규모 개발이 비하여 심부 고품위광의 개발 쪽이 훨씬 바람직 할 것이다. 현재도 남아공의 금광 산에서는 지하 3,000m 이하의 깊은 갱내에서 채광작업이 이루어지고 있으며, 채광기술상의 문제가 없다. 앞으로 대체가 불가능한 광종 또는 용도에 대해 심부광체가 공급원이 될 가능성은 탐사기술의 진보에 달려 있는 것이다.

Skinner(1989)는 이점에 대해 초심층 시추 등에 의해 심부지질 정보가 많은 북미주나 유럽이 다시금 주요한 광물자원 공급지가 될 것이라고 예측하고 있다. 하지만 저품위화와 심부화에 대해 희유원소 광물자원의 대체가 순조롭게 진행된다면 21세기 중엽 지구상에서 광물자원이 물리적으로 고갈되는 일은 없을 것으로 본다. 그러나 물리적인

광물자원의 고갈이 없다는 것과 사회경제적인 혼란 없이 자원의 공급이 순조롭게 진행되는 것은 별개의 문제일 것이다. 광물자원 공급의 가장 중요한 저해요인중의 하나는 에너지이며, 싼값으로 풍부한 에너지의 공급이 없다면 금속가격의 대폭적인 상승은 피할 수 없을 것이다. 또한 환경문제에 관해서도 특히 심부 광상의 개발이 진행된다면 광물자원개발 그 자체의 영향은 별 문제가 없고, 오히려 환경보호를 위해 에너지비가 상승하는 쪽이 더 큰 문제가 될 것이다. 그 외 더욱 심각한 문제로 Sato(1992)는 지금부터 20~30년 후인 가까운 장래에 자원보유국이 많은 제3세계와의 공존의 문제를 제시하고 있다.

광물자원의 지역적 편재성

지구상에 광물자원의 부존은 지질조건에 따라 결정되므로 원천적으로 지역적인 편재성을 지닐 수밖에 없으며, 따라서 국토면적이 넓으면 넓을수록 그 가능성은 높아지고 탐사와 투자금액에 따라서 광물자원 확보량도 증가하게 된다.

표 2에 표시한 바와 같이 지구상에서 생산되는 34개 광종을 대상으로 상위 6개 보유국을 선정(43개국)하여 보유 광종수를 종합하여 보면 불과 몇 개 국가만이 비교적 다양한 자원을 보유하고 있음을 알 수가 있다. 한편 용도별 광종분류를 보면 Group별로 차이가 약간 있으나 최저 11개국에서 최대 21개국이 상위 Group을 형성하고 있다. 비록 광종별로 매장량 점유율은 큰 차이가 있지만 상위 6개국의 경우 평균 90% 수준을 보이고 있어서 실질적으로 이들 국가들에 거의 세계의 광물자원은 편재되어 분포한다고 볼 수 있다. Group별로 비교적 고루 보유하고 있는 나라로는 소련, 미국, 중국, 호주, 캐나다, 남아공이고 그 뒤를 브라질, 멕시코, 페루, 인도, 보리비아, 콩고 등의 순이 되고 있다.

표 3, 4, 및 5에서 보는 바와 같이 세계 광물자원의 대부분은 개발도상국과 구 공산권 국가에 편재되어 있어서, 21세기에는 물리적인 고갈의 걱정은 없더라도 빈곤을 원인으로 하는 이들 개발 도상국의 정치불안이 광물자원의 공급부족을 가져올 위험이 있다. 더군다나 빈곤은 인구폭발을 수반하여 환경파괴와 식량부족을 가속시키게 되는 것이다.

한편 광물자원의 매장규모를 표시하는데는 “가행년수 = [매장량(R)/생산량(P)]”를 흔히 이용하는데, 이는 정적인 개념으로 년도에 따라 변화되어 절대성을 지니는 것은 아니지만, 상대적으로 풍부한가를 대비하여 준다는 점에서 의미를 지니고 있다. 세계 주요 광종에 대해 가행연수를 구해본 결과를 표 6에 표시하였다. 단 여기서 매장량은 현재의 기술과 가격하에서 경제성이 있다고 평가된 양만을 대상으로 하여 미국 지질조사소(USGS)의 자료를 인용하였고, 생산량은 1998년도 통계치를 이용하였다.

표 2. 세계 자원부국중 주요 광종별 및 용도별 매장량(1~6위 국가와 보유 광종수)

광물구룹 (Mineral Group)	광종수	국가수	매장량 1~6위 보유 광종 수 및 국가명					
			6	5	4	3	2	1
I. Base Metal (Cu, Pb, Zn, Sn)	4	15	-	-	CHN	USA	MEX,PER AUS,CND	BOL.CHL.IDN.MAL.THA. BRZ,RUS,POL,S.Af
II. Light Metal (Al, Mg, Ti)	3	13	-	-	-	-	BRZ.CHN USA,AUS RUS	CND.JPN.NKOR,GER GRC.TRK.UK,FRA
III. Steel Industry (Fe, Ni, Mn, Cr, Co, Mo, W, V, Ta, Nb)	10	21	AUS CHN RUS	CND	USA	S.Af	CUB.UKR BRZ.CON N.CAL.	CHL.GAB.KAZ.FIN.BOL, PER.ZAM.ZIM.NIG
IV. Atomic Fuel (Th, Be, REE, Zr)	4	11	-	-	USA	AUS IND CHN	S.Af, BRZ RUS	CND.NOR.KAZ,UKR
V. Electronics (Hg, Se, Te)	3	12	-	-	-	USA	CND PER	SPN.RUS.ALG,ITA,KYR, CHL,ZAM,PHI,JPN
VI. Chemical Engineering (P, K, Ba, Sb, F, Bi)	6	19	USA	CHN	-	RUS S.Af MEX	CND BOL	BRZ.IND.MOR,JOR,FRA, SPN,BLR,GER,THA KYR,AUS,PER
VII. Precious Metal (Au, Ag, Pt, Pd)	4	8	-	-	-	CND	AUS.RUS S.Af	UZB.MEX.PER.

* -Based on Ore Reserves of Mineral Commodity Summaries 1998, USGS

-Total 43 Countries of Ranking 1st to 6th Country of the Stocked Ore Reserves

* Abbreviations ; ALG=Algeria, AUS=Australia, BLR=Belarus, BOL=Bolivia, BRZ=Brazil, CHL=Chile, CHN=China, CND=Canada, CON=Congo, CUB=Cuba, FIN=Finland, FRA=France, GAB=Gabon, GER=Germany, GRC=Greece, IDN=Indonesia, IND=India, ITA=Italy, JPN=Japan, JOR=Jordan, KAZ=Kazakstan, KYR=Kyrgystan, MAL=Malaysia, MEX=Mexico, MOR=Morocco, NIG=Nigeria, NCAL=New Caledonia, NOR=Norway, NKOR=North Korea, PER=Peru, PHI=Philippine, POL=Poland, RUS=Russia, S.Af=South Africa, SPN=Spain, THA=Thailand, TRK=Turkey, U.K.=United Kingdom, UKR=Ukraine, USA=America, UZB=Uzbekistan, ZAM=Zambia, ZIM=Zimbabwe.

표 3. 세계 주요 금속광물의 매장량 10위권 국가 현황

철광(Iron)			동광(Copper)			금(Gold)			주석광(Tin)		
순위	국가명	매장량 % (10 ⁶ M/T)	순위	국가명	매장량 % (10 ⁶ M/T)	순위	국가명	매장량 % (M/T)	순위	국가명	매장량 % (10 ³ M/T)
1 st	Russia	34,300 20.5	1 st	Chile	88 27.5	1 st	S.Africa	18,500 41.1	1 st	China	2,100 27.3
2 nd	China	25,000 15.0	2 nd	U.S.A.	45 14.1	2 nd	U.S.A.	5,600 12.4	2 nd	Brazil	1,200 15.6
3 rd	Ukraine	21,800 13.1	3 rd	Poland	20 6.3	3 rd	Australia	4,000 8.9	3 rd	Malaysia	1,200 15.6
4 th	Australia	18,000 10.8	4 th	Russia	20 6.3	4 th	Russia	3,000 6.7	4 th	Thailand	940 12.2
5 th	U.S.A.	16,000 9.6	5 th	China	18 5.6	5 th	Uzbekstan	2,000 4.4	5 th	Indonesia	750 9.7
6 th	Canada	12,000 7.2	6 th	Mexico	15 4.7	6 th	Canada	1,500 3.3	6 th	Bolivia	450 5.8
7 th	Brazil	11,000 6.6	7 th	Kazakstan	14 4.5	7 th	Brazil	800 1.8	7 th	Peru	300 3.9
8 th	Kazkstan	7,600 4.6	8 th	Zambia	12 3.8	8 th	China	- -	8 th	Russia	300 3.9
9 th	India	5,400 3.2	9 th	Indonesia	11 3.4	9 th	-	- -	9 th	Australia	210 2.7
10 th	S.Africa	4,000 2.4	10 th	Congo	10 3.1	10 th	-	- -	10 th	Portugal	70 0.9
(소 계)	(155,300)	(93.0)	(256)	(80.0)	(35,700)	(79.3)	(7,500)	(97.4)			
기 타	11,700	7.0	64	20.0	9,300	20.7	200	2.6			
총 계	167,000	100.0	320	100.0	45,000	100.0	7,700	100.0			

* Data: Based on Ore Reserves of Mineral Commodity Summaries 1998, USGS.

표 4. 세계 주요 비금속광물의 매장량 10위권 국가 현황

알루미늄(Bauxite)*				Potash(K ₂ O)*				인광석(Phosphate)**			
순위	국가명	매장량 (10 ⁶ M/T)	%	순위	국가명	매장량 (10 ⁶ M/T)	%	순위	국가명	매장량 (10 ³ M/T)	%
1 st	Australia	7,900	28.2	1 st	Canada	4,400	52.4	1 st	Morocco	21,000	63.6
2 nd	Guinea	5,900	21.1	2 nd	Russia	1,800	21.4	2 nd	U.S.A.	4,400	13.3
3 rd	Brazil	2,900	10.4	3 rd	Belarus	800	9.5	3 rd	S.Africa	2,500	7.6
4 th	China	2,000	7.1	4 th	Germany	720	8.6	4 th	Russia	1,000	3.0
5 th	Jamaica	2,000	7.1	5 th	China	320	3.8	5 th	Jordan	570	1.7
6 th	India	1,200	4.3	6 th	U.S.A.	70	0.8	6 th	Brazil	370	1.1
7 th	Guyana	900	3.2	7 th	Brazil	50	0.6	7 th	Tunisia	270	0.8
8 th	Suriname	600	2.1	8 th	Israel	42	0.5	8 th	China	210	0.6
9 th	Venezuela	350	1.3	9 th	Jordan	42	0.5	9 th	Israel	180	0.5
10 th	Russia	200	0.7	10 th	Ukraine	25	0.3	10 th	Sengal	160	0.5
(소 계)		(23,560)	(84.1)			(8,289)	(98.7)			(30,340)	(91.9)
기 타		4,440	15.9			710	1.3			2,660	8.1
총 계		28,000	100.0			8,400	100.0			33,000	100.0

* Data: Based on Ore Reserves(*) and/or Ore Reserve Bases(**) of Mineral Commodity Summaries 1998, USGS.

표 5. 세계 주요 에너지자원의 매장량 10위권 국가 현황

원유(Petroleum)*			천연가스(Natural gas)*			석탄(Coal)**			토륨(Thorium)***						
순위	국가명	매장량 (10 ⁶ bbbl)	%	순위	국가명	매장량 (10 ⁵ .ft ³)	%	순위	국가명	매장량 (10 ⁶ M/T)	%	순위	국가명	매장량 (10 ³ M/T)	%
1 st	Saudi Ar	259,200	25.2	1 st	Russia	1,700,000	32.2	1 st	USA	246,643	25.1	1 st	Australia	300	25.0
2 nd	Kuwait	94,000	9.1	2 nd	Iran	812,300	15.4	2 nd	Russia	157,010	16.0	2 nd	India	290	24.2
3 rd	Abu Dhabi	92,200	9.0	3 rd	Qatar	393,830	7.5	3 rd	China	114,500	11.6	3 rd	Norway	170	14.2
4 th	Iran	89,700	8.7	4 th	Saudi Ar	213,300	4.0	4 th	Australia	90,400	9.2	4 th	USA	160	13.3
5 th	Venezuela	76,862	7.5	5 th	Abu Dhabi	196,100	3.7	5 th	India	74,733	7.6	5 th	Canada	100	8.3
6 th	Russia	48,573	4.7	6 th	USA	167,406	3.2	6 th	.Germany	67,300	6.8	6 th	S.Africa	35	2.9
7 th	Libya	29,500	2.9	7 th	Algeria	159,700	3.0	7 th	S.Africa	55,333	5.6	7 th	Brazil	16	1.3
8 th	.Mexico	28,260	2.8	8 th	Venezuela	146,800	2.8	8 th	Taiwan	34,000	3.5	8 th	Malaysia	4.5	0.4
9 th	China	24,000	2.3	9 th	Nigeria	124,000	2.4	9 th	Serbia	16,472	1.7	9 th	-	-	-
10 th	Nigeria	22,599	2.2	10 th	Iraq	109,800	2.1	10 th	Poland	14,309	1.5	10 th	-	-	-
(소 계)		(764,795)	(74.4)			(4,023,236)	(76.2)			(870,700)	(88.5)			(1,075.5)	(89.6)
기 타		263,663	25.6			1,255,248	23.8			113,511	11.5			124.500	10.4
총 계		1,028,457	100.0			5,278,484	100.0			984,211	100.0			1,200,000	100.0

* Data: * ; Oil & Gas Journal(2001), ** ; WEC(1998), *** ; Mineral Commodity Summaries 1998, USGS.

그러나 자원의 수명이 꼭 R/P치가 지시하는 그 후에는 완전히 끝나는 것은 결코 아니다. 기술의 발전에 따라 생산비가 저하되고 또한 새롭게 광량을 확보하려는 노력이 계속되기 때문에 전체적으로는 거의 비슷한 수준을 유지하며 추이하게 된다. 이는 물론 단기적인 상황에서의 경우이고, 광물부존의 한계성 때문에 먼 미래까지도 이 논리를 적용할 수는 없는 것이다.

표 6에서와 같이 세계 광물자원중 마그네사이트는 947년 가행 가능하며, 100년 이상 생산가능 광종은 크롬, 포타쉬, 보키사이트, 인광석, 코발트, 철광석 등 7개 광종이고, 50년 이상 생산가능 광종은 형석, 중석광, 망간 등 3개 광종이다. 그러나 우리 생활에 밀접한 관계를 갖고 있는 기초금속과 귀금속류는 50년 미만의 생산수명을 보여 주고 있다. 세계 광물자원의 매장량과 생산량의 관계를 보면 대부분의 광종이 10~100년의 범주에 속하고 있음을 알 수 있다(매장량 = 생산량 x 10~100). 한편, R/P치의 추이 중 아연(Zn)의 경우를 들어 분석한 결과(李京漢, 1987)에 의하면 대체로 20년을 중심으로 하여 변동하고 있다. 과거에 비해 생산량은 월등히 늘어났어도 R/P치가 큰 변화를 보이지 않는다는 점에 주목할 필요가 있다. 이와 같은 사실은 생산된 광물의 양 이상으로 추가적으로 광량을 확보해 왔음을 의미하는 것이다.

그러나 자원탐사는 단기간 내에 이루어지는 것이 아니며, 또한 가격이 적정수준을 유지하지 못할 경우에는 탐사활동도 둔화되어, 그 후의 생산활동에 영향을 미치게 된다.

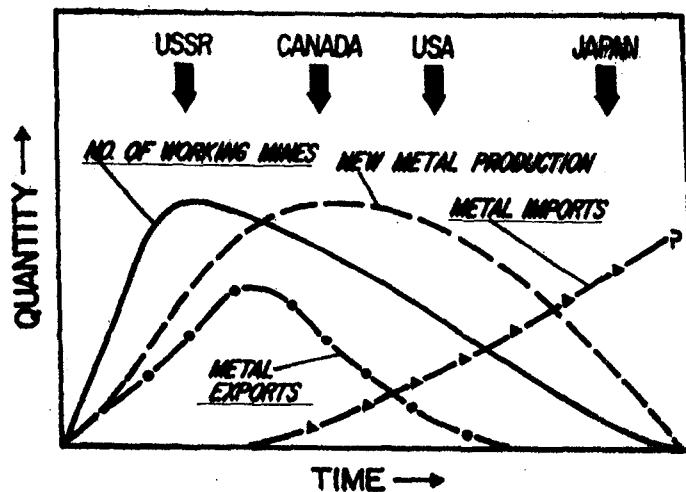


그림 2. 선진국에서의 광업과 금속 생산, 수입 및 수출 상관
(Hewett, 1929; Skinner, 1977)

표 6. 세계 주요 광물자원의 가행 가능년수(1997년 기준)

Mineral Commodities	World Total Ore Reserves(M/T)	World Annual Production(M/T)	Workable (Year)
Ag (Silver)	280,000	15,300	18< (20)*
Sb (Antimony)	2,400,000	124,000	19< (90)*
Au (Gold)	45,000	2,300	20< (35)*
Pb (Lead)	65,000 x 10 ³	2,900 x 10 ³	22< (26)*
Zn (Zinc)	190,000 x 10 ³	7,800 x 10 ³	24< (25)*
S (Sulfur)	1,400,000 x 10 ³	54,000 x 10 ³	26 >(22)*
Cu (Copper)	320,000 x 10 ³	11,300 x 10 ³	28< (41)*
Ta (Tantalum)	14,000	395	35
Ni (Nickel)	40,000,000	1,080,000	37< (76)*
Ba (Barite)	170,000 x 10 ³	4,600 x 10 ³	37<(185)*
Mo (Molybdenum)	5,500,000	131,000	42< (56)*
W (Tungsten)	2,100,000	32,000	66< (70)*
CaF ₂ (Fluorspar)	371,000 x 10 ³	4,110 x 10 ³	90< (96)*
Mn (Manganese)	680,000 x 10 ³	7,500 x 10 ³	91<(114)*
Co (Cobalt)	4,000,000	27,000	148<(150)*
Fe (Iron)	167,000,000 x 10 ³	1,030,000 x 10 ³	162>(101)*
P (Phosphate)	33,000,000 x 10 ³	136,000 x 10 ³	243> (98)*
Bauxite	28,000,000 x 10 ³	115,000 x 10 ³	244>(238)*
Cr (Chromium)	3,600,000 x 10 ³	12,000 x 10 ³	300<(376)*
K ₂ O (Potash)	8,400,000 x 10 ³	23,500 x 10 ³	358>(346)*
Mg (Magnesium)	2,500,000 x 10 ³	2,640 x 10 ³	947>(467)*

* Data : Mineral Commodity Summaries 1998, USGS.
(77)* : Workable year in 1985.

유명한 지질학자 Hewett(1929)는 유럽에서의 광물자원의 탐사와 개발자료를 근거로 하여 그림 2를 제시하여 당시 모든 광물자원에 적용하였고, 여기에 Skinner(1989)가 추가하여 그림을 보완 한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 생산 광산 수에서 보면, 소련만이 정점에 도달하였을 뿐 캐나다, 미국 및 일본 등 선진제국은 감소추세에 있다. 금속광물자원의 수출상황도 소련은 아직 증가추세에 있으나, 캐나다와 미국은 감소추세이고, 일본의 경우는 수입량이 급격히 증대하고 있는 것을 알 수가 있다. 한국의 위치는 그림의 우측상단이 될 것이다.

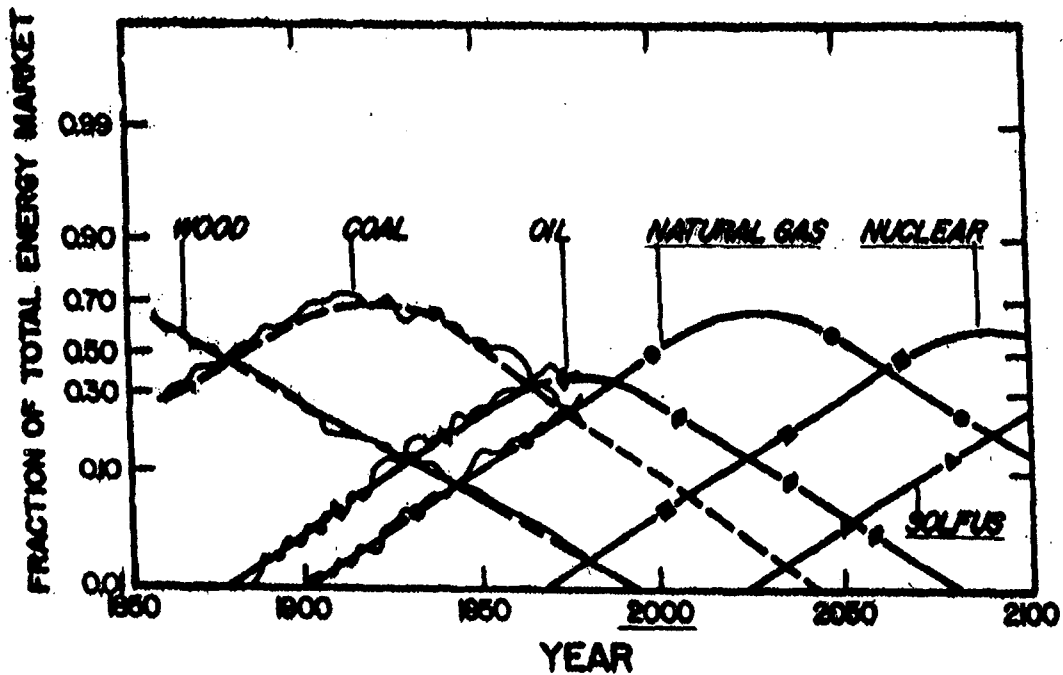


그림 3. 미래 에너지원에 대한 Darmstadter(1986)의 예견
 SOLFUS(Solar and fusion) has yet to be achieved.

그림 3은 세계 에너지 시장에서의 에너지자원에 대한 미래를 Darmstadter(1986)가 예측한 역사적 자료이다. 산림자원과 석탄자원은 그 이용의 한계점을 지나 감소추세에 있으며, 석유의 경우는 현재 이용 면에서 정점에 달하였으며, 천연가스와 핵연료는 아직 상승상태에 있으며, 다가오는 미래에는 아직은 미확인의 SOLFUS (solar and fusion energy?)가 개발되어야 할 에너지원이다.

Skinner(1989)는 아직 미탐사 광물자원을 전문가의 노력에 의해서 추가확보 된다면, 현재 우리가 이용하고 있는 화석연료는 21세기 동안에는 충족할 것으로 예측하고 있다. 그리고 또 다른 지질학적 관점에서 21세기 중 대체에너지원으로서 지구내부로부터 얻을 수 있는 잠재력이 있는 막대한 지열에너지를 지적하고 있다.

1988년도 1년 간에 지구상에서 소비된 에너지 총량은 4×10^{20} 줄(joule) 이었다. 이는 지구상의 인구 1인당 1년간 석탄 2.2 톤을 소비하였을 때 나오는 에너지 양과 맞먹는 양이며, 석유로 환산할 경우는 인구 1인당 1년간 12바렐(barrel)을 사용하였을 경우에 나오는 에너지 양이다. 이와 같이 지구상에서 전 인류가 연간 소비하는 에너지 양은 엄청난 양이다.

그림 4에는 1860년에서부터 1985년까지 지구상의 대기 중으로 유입되는 CO₂의 양을 표시하였다. 세계 2차 대전까지는 그 양이 미미하였으나, 그 후로는 급작히 증가하여, 근래에는 연간 50억 톤에 달하고 있다. 이제는 광물자원의 부족을 걱정할 때가 아니

고, 광물자원을 이용한 후에 발생하는 공해문제를 먼저 고려하여야 할 시기가 왔다. 이제 우리는 이 문제에 대해서 심각하게 우리 인류의 미래를 걱정할 때가 온 것이다.

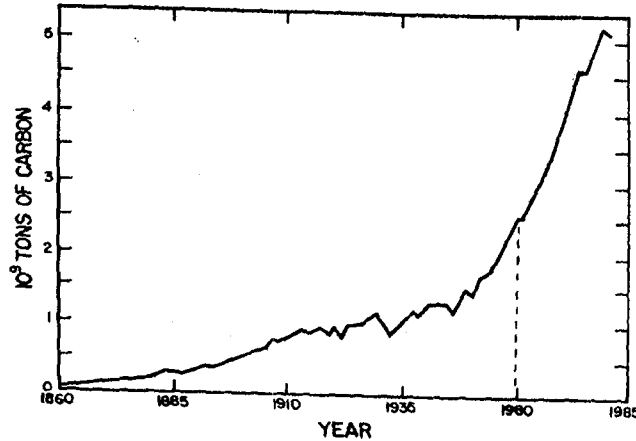


그림 4. 지구상 대기중에 유입되는 CO₂ 가스의 증가추이(Clark, 1986)

결 언

지구상에서 우리 인간에 의한 다량의 광물자원의 소비는 하나의 커다란 지질영력이 되고 있으며, 특히 세계인구가 증가하여 위험수위까지 팽창할 때는 더욱더 심각해질 것이다. 하지만 앞으로 지구상의 광물자원의 공급은 싼값에 풍부한 에너지 공급만 있다면 다음 세기 중에 인류문명에 위협을 줄만한 광물자원의 고갈이 물리적으로는 일어나지 않을 것이다. 그러나 광물자원은 지구상에 지역적 편재성을 가지고 분포하기 때문에 앞으로 계속 큰 문제를 야기 시킬 것이며, 대부분의 광물은 그 가격과 공급원에 따라서 많은 변화를 불러 올 것이다. 에너지자원의 경우도 한가지 연료자원에 대한 불확실한 의존을 피하기 위하여 다른 대체에너지원을 개발하여야 만 될 것이다.

앞으로 광물자원의 안정적, 지속적 공급을 위해서는 계속해서 많은 새로운 광상을 발견하여 우리 인류의 재산목록의 잔고를 늘릴 필요가 있다는 것은 물론이다. 그러나 광물자원 사용에 기인된 지구환경오염, 특히 지하수와 농경지의 보존에 대한 특별한 관심이 필요하다. 그러므로 우리는 광물자원을 다루면서 우리의 환경문제와 관련지어 **“광산개발→원료생산→가공→제품→소비→폐기”**라는 과정 전체가 지구와 그 주인인 인류에게 미치는 영향을 볼 수 있는 안목을 키워 나가야 될 것이다.

한국에서도 일반광물, 연료 및 에너지자원에 석·골재자원을 포함한 1997년도 국민 1인당 광물자원 소비량은 50여 광종에 11.4톤(총 소비량 5억 2250만 톤)으로 대단한 양이 소비되고 있다. 광물자원탐사는 하루아침에 이루어지지 않는다. 일본의 Kuroko(黒鑛) 혼합 유화광상 탐사시도 전담 위에서 수십 개 공의 시추 탐사 중 마지막 시추 공에서 광체를 착맥하여 개발하였으며, 영국의 경우 흑해의 석유탐사도 유사한 과정을

서처 이루어졌음을 우리는 교훈으로 삼아야 될 것이다.

국가 경제발전의 근본은 산업발전에 있으며, 산업발전의 기본은 원료광물자원의 안정적이고 지속적인 공급에서부터 출발하기 때문에 우리에게 필요한 것은 원료광물자원의 확보인 것이다. 이를 위하여 국가차원의 국내 광물자원 탐사사업의 전개는 물론, 이와 병행하여 해외광물자원 개발수입을 위한 기초조사와 협력사업을 부단히 지속할 것을 제언하는 바이다.

참고문헌

- 金 泰由, 1991, 海外輸入 戰略資源의 安定的 確保를 爲한 經濟 協力方案. 韓國安全保障勞總, 第 18輯, 163-234.
- 産業資源部, 1971-2001, 鑛山物 需給現況.
- 西山 孝, 1987, 鑛物資源의 現狀 : 21世紀의 資源供給에 대한 考察. アルム出版社, 357P.
- 吳敏秀, 1994, 2,000年代의 鑛物資源. 大韓資源環境地質學會와 大韓地質學會 第10회 共同學術講演會, 2,000年代 資源과 環境地質 發表論文集, 1-32.
- 오민수, 1999, 국민 1인당 광물자원 소비추이. 한국자원연구소 논문집, 3권 1호, 89-96.
- 日本資源地質學會, 1992, 西曆 2,000年の 資源地質. 資源地質 特別號 13, 220pp.
- 통계청, 1998, 통계로 본 대한민국 50년의 경제 사회상 변화, 대한민국 50년 - 다시 뛰는 한국인, 557p.
- Inoue Masaaki and Sato Yoshiaki, 1992, The Future Prospect of Coal Resources in the World. Geological News, v.449,26-41, Geological Survey of Japan(in Japanese).
- Cgawa Katsuro, 1992, 21世紀를 向한 資源과 環境. 地質 News, 449號, 2-3, 日本地質調査所.
- Sato Takeo, 1992, 21世紀의 鑛物資源問題. 地質 News, 449號, 10-16, 日本地質 調査所.
- Skinner, Brian J., 1976, A Second Iron Age Ahead?. American Scientist, v. 64, 258-269.
- Skinner, Brian J., 1989, Resources in the 21sts Century : Can supplies meet needs?, Episodes, v. 12, n. 4, 267-275.
- USGS, 1998, Mineral Commodity Summaries 1998, 197p.
- <http://his2.keei.re.kr/cgi-bin/t-sqld5>
- <http://rik.kigam.re.kr>