기술해설

21世紀 鑛物資源의 需要와 供給

The Future Prospect of Mineral Resources in 21st Century

앞으로 지구상의 광물자원의 공급은 싼 값에 풍부한 에너지 공급만 있다면 다음 세기 중에 인류문명에 위험을 줄만한 광물자원의 고갈이 물리적으로는 일어나지 않을 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.

吳 敏 秀*
Oh, Mihn Soo

* 응용지질기술사, 이학박사, 한국자원연구소 책임연구원, 대한자원환경지질학회 회장.

머리말

자원(資源, resources)이란 "인간에게 유용하고, 가용하며, 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 워싱톤에서는 제5회 국제지질학회(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 워싱톤의 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 것이라고 누구든지 상상할 수 있을 것이지만 실제로는 사실과 달랐다. 그 이유는 19세기 말 지질학자들은 자동차, 비행기, 플라스틱, 가정전자제품 및 그 외 여러 가지 자원 소비형의 공업제품(당시로서는 불가사의라고 생각)은 아직 알려지지 않았음에도 불구하고 중요한 광물자원의 양에 대해서는 미리 걱정을 하고 있었으며, 특히 석탄과 철은 관심의 표적이었다.

제5회 IGC가 개최된 지 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 우리 나라의 철자원의 공급이 계속해서 감소되고 있는 점에 마음이 아팠습니다. 전에는 풍부하다고 생각되었던 고품위 철광석이 차세대

에서 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 세기 동안 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·정련 등의 광석처리법의 눈부신 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.

본문에서는 전술한 Skinner(1989)의 논문과 일본지질조사소가 발간하는 지질뉴스에 발표한 Sato(1992)의 논문을 참고로 다가오는 21세기의 광물자원에 대하여 요약하려고 한다.

광물자원은 왜 고갈되지 않는가?

현재 지구상의 인류는 여러 가지 형태로 주기율표상에 있는 대부분의 원소들을 인류 생활에 이용하고 있다. 광물자원은 지구상에 지역적 편재성을 가지고 분포하기 때문에 세계 어느 나라도 자원에 관한 한 완전자급을 이루지는 못하고 있다. 광물자원이 풍부한 소련도 이제는 예외가 될 수 없다.

지구상의 인류가 1년간 소비하는 광물의 양은 1인당 10톤의 광물자원(에너지자원 포함)을 소비하므로 1년에는 500억톤을 소비하는 계산이 된다. 선진국에 있어서의 소비량은 좀 더 많아서 세계평균치의 2배에 가깝다. 〈표 1〉에 표시한 바와 같이 11개 광종에 대한 1987년도 국민 1인당 광물소비량은 미국이 17.3톤, 일본이 14.5톤이고 우리 나라는 4.5톤이다.

〈표 1〉 한국, 일본 및 미국의 국민 1인당 1987년도 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) : 통계연감.

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

Skinner(1989)의 계산에 의하면 지구상에서 1년간 소비되는 광물자원의 총량(약 500억톤)은 지구상의 하천이 1년간에 바다로 옮기는 퇴적물의 양(165억톤)의 3배가 되는 것을 지적하고, 이는 인간의 활동이 "제1급의 지질영역"이 되었다고 한 바 있다. 1891년에는 년간 1인당 광물자원

의 소비량은 2톤 정도였다고 추정되므로 1세기 동안에 5배로 증가한 것이 된다. 그러므로 광물 소비량은 세계의 인구증가와 함께 계속 증가할 것이므로 앞으로 광물자원에 관한 문제는 선진국뿐만 아니라 전 지구적으로 해결하여야 될 문제인 것이다.

제5회 IGC(1981) 개최시 지구상 인구는 17억이었으나 제5회 IGC가 개최된 1989년에는 인구가 50억을 넘어 60억에 근접하고 있었다. 세계인구 증가율은 대단하여 사망률을 감안하여도 매분당 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(〈그림 1〉). 2,100년경에는 년간 광물자원 소비량이 얼마나 될 것인가를 짐작할 수 있을 것이다.

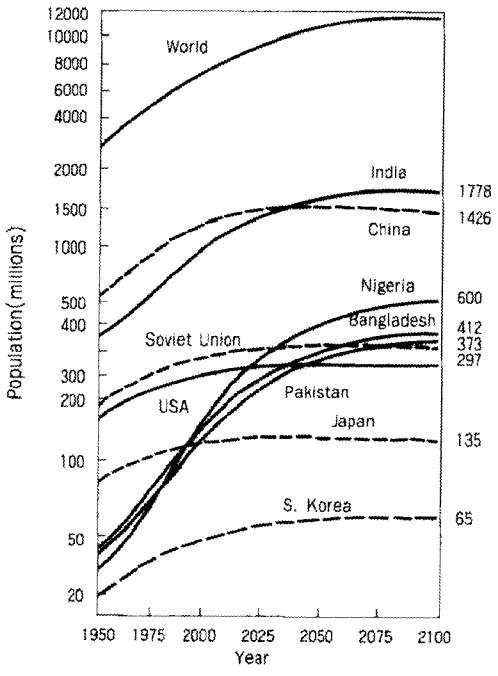
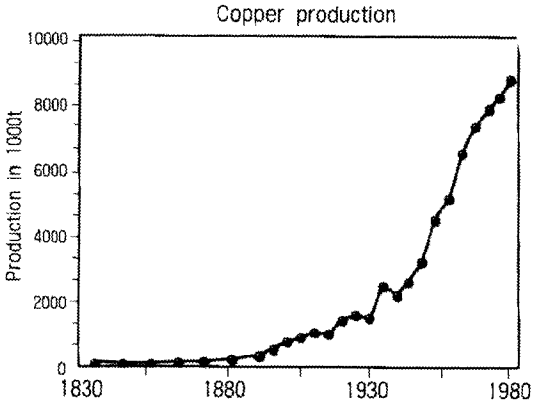


그림 1) 2100년의 세계인구증가추이
[Demeny(1984) and Skinner(1989)]



〈그림 2〉 1835~1988년 간 세계 동광 생산량 변화
(Mining Annual Review, 1985)

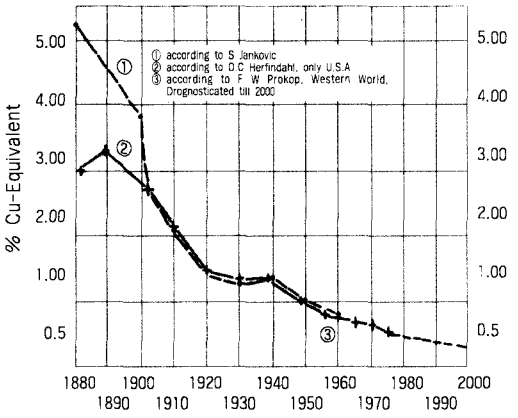
우리 나라 국민 1인당 년간 광물자원 소비추이를 살펴보면 1980년에 48광종에 3.41톤, 1985년에 46광종 4.74톤, 1990년에 51광종 6.73톤, 1992년에는 50광종에 9.04톤, 1994년에 46광종 10.40톤, 그리고 1996년에는 49광종 11.26톤을 소비하였다. 1980년 대비 10년간인 1990년에는 약 2배의 증가추세를 보이고 있으며, 1980년 대비 16년간인 1996년에는 약 3.3배의 증가추세를 보이고 있으며, 광물자원 및 Energy 자원 총 소비량은 1980년에 1.3억 톤이던 것이 1996년에는 5.1억 톤으로 증가하였다(〈표 8〉).

〈그림 2〉에는 1830년에서부터 1980년까지 150년간 세계의 동(Cu) 생산량의 변화를 나타내고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 생산량(소비량)이 기하학적으로 급격한 증가추세를 보이는 것은 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.

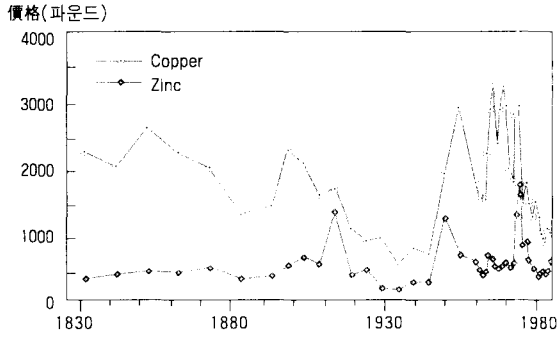
사실상 자원이 오래지 않아 고갈된다는 경고는 최근 수십년간 수차에 걸쳐 제기되었었다. 그러나 실제로는 채굴된 광석량 이상의 광량이 매년 꾸준히 발견되어 그 경고는 허공에 떠버리고 말

았다.

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



〈그림 3〉 1889~1975년 간 동광석의 품위 변화 (Routhier, 1980)



〈그림 4〉 1935~1984년 간 동광석과 아연광석의 가격변화 (Mining Annual Review, 1985)

〈그림 3〉에서 보는 바와 같이 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(〈그림 4〉).

이 경우 생산비의 상승을 억제할 수 있었던 것은 풍부한 석유에 의한 값싼 에너지의 공급이 있었고, 또한 노천 채굴법과 선광·정련 등의 광석처리법에 눈부신 기술진보가 있었기 때문이다.

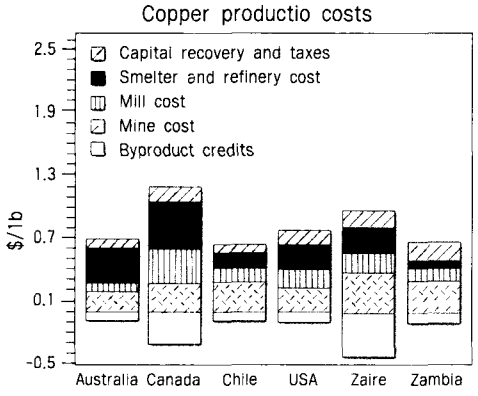
어떤 경제학자는 "지구는 광물로 되어 있으므로 광물자원이 고갈되는 일은 없다"라고 하였다지만 이는 어떤 의미에서는 진의일 수도 있다. 예를 들면 지구상 육지부분의 심도 2km까지의 지각 중에만도 49 × 10^{12} 톤의 동이 포함되어 있다는 계산이 나오기 때문이며, 이는 현재 동 소비량의 460만년 분에 해당되는 양이다.(Sato, 1992) 그러므로 현재의 기술로도 생산비를 무시한다면 보통의 암석으로부터 동(Cu)을 추출할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 자원은 그 정의상 경제성이 있다는 것이 필요하며, 높아야 수 10ppm의 동을 함유할 뿐인 보통의 암석이 미래에 있어서의 동자원이 된다는 것은 있을 수 없다고 본다. 보다 저품위의 광석을 채광함으로써 생산량을 늘려온 과거의 역사를 쉽게 미래로 돌리는 것은 그 경제학자와 같은 잘못을 일으키는 결과가 될 것이다.

미래의 광물자원과 에너지자원은?

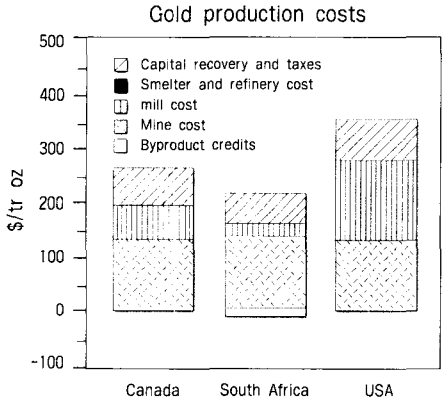
장래의 광물자원의 생산과정에서는 피할 수 없이 닥쳐올 저품위화가 진행될 것이므로, 광물자원의 원활한 공급을 위해서는 생산비를 감소시킬 수 있는 기술의 발전은 물론이고 값싼 에너지의 공급은 더욱 필수적일 것이다. 광석을 채굴한 후 여러 가지 과정을 거쳐 유용금속을 회수하기까지의 생산비에는 많은 요소가 포함된다. 또한 전체 생산비 중에서 각 요소의 비율은 각 광상의 품위와 존재상태에 따라서 다르게 된다. 〈그림 5, 6, 7〉에 국가별로 동, 금 및 알루미늄의 생산비를 비교하여 표시하였다.

동광의 경우는 캐나다가 선광비와 정련비가 모

두 높은 것은 복잡한 유화광을 처리하고 있는 광산이 많기 때문이다. 그러나 그 생산비가 높은 것은 광석처리 중에 회수되는 부산물의 이익에 의해 없앨 수 있다. 호주에서는 채광비와 선광비가 각국 중 최저이다. 이것은 호주에서 최대의 동광산인 "Mount Isa"의 광석이 Cu 3.5%로 고품위이며 또한 효율이 높은 새로운 광산인 점을 반영하고 있다.

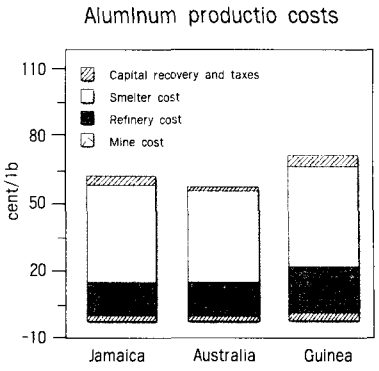


〈그림 5〉 동(Cu) 1파운드당 생산비 내역 (USBM, 1987)



〈그림 6〉 금(Au) 1온스당 생산비 내역 (Mining Annual Review, 1985)

금에서는 남아공의 갱내굴 광산의 생산비가 압도적으로 낮은 것은 광석의 품위가 평균 Au



〈그림 7〉 알루미늄(Al) 1파운드당 생산비 내역 (Mining Annual Review, 1985)

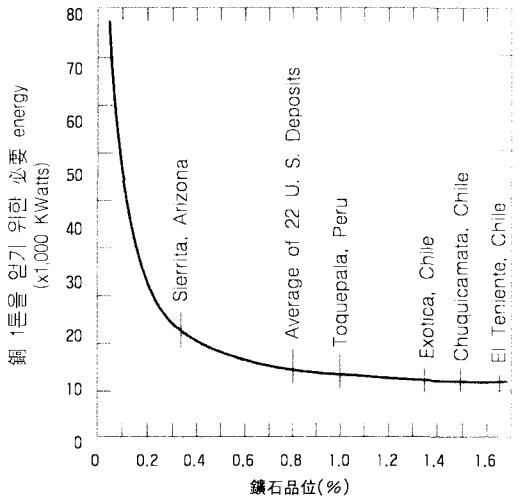
7.7g/t으로 높고, 또한 값싼 노동력 때문이다. 미국의 경우는 Au 2.0g/t 정도의 저품위 광산이 많기 때문에 선광비 특히 파쇄비가 높다. 금광의 경우는 정련비에 비하여 선광비와 채광비의 비율이 대단히 큰 것이 특징이다.

알루미늄(Al)은 동(Cu)의 대체로서 알루미늄을 사용할 경우 또는 가장 일반적으로, 유화광물 대신에 산화광물이나 규산염광물로부터 금속을 추출하는 경우의 생산비를 보여주고 있다. 이 경우는 정련비가 극단적으로 높아지고 있다. 이러한 생산비는 에너지가 차지하는 부분과 인건비로 구성되지만 그 대부분은 에너지비가 차지하고 있다. 〈그림 8〉과 〈그림 9〉에는 금속 1톤을 생산하기 위하여 광석품위의 저하에 따라 필요한 에너지가 어떻게 증가하는가를 표시하였다.

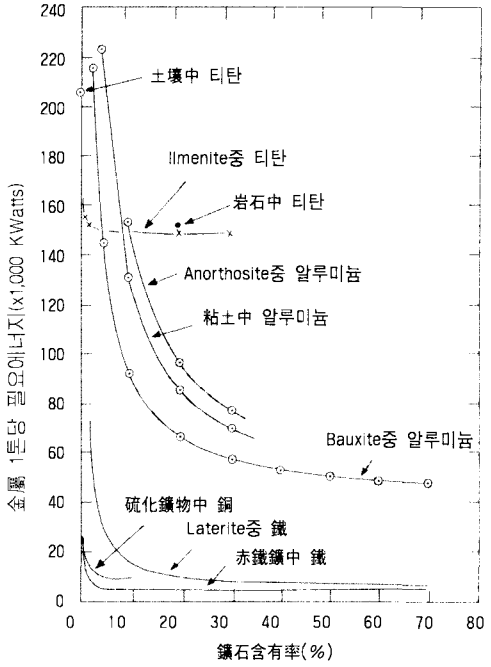
동의 경우는 광석품위가 내려감에 따라 서서히 상승하고 있는 에너지량이 품위 Cu 0.3% 부근에서 급격히 상승하는 것을 볼 수 있다. 동과 알루미늄의 필요 에너지를 비교하면 0.1%의 동광석으로부터 동을 회수하는 에너지는 보키사이트로부터 알루미늄을 회수하는 에너지와 거의 같게 된다. 이와 같이 저품위광을 채광하지 않으면 안 될 시기에는 동수요의 대부분은 알루미늄에 의해 대체되고, 대체할 수 없는 부분에만 고가격의 동이 사용될 것으로 예측된다.

Skinner(1976)는 "A second iron age ahead?"라는 논문에서 자원으로서 동, 연, 아연과 같은 지구화학적으로 그 함유량이 낮은 금속에는 "광물학적 장벽"이 있는 것을 지적한 바 있다. 다시 말하면 현재 채광되고 있는 광석 중에는 이러한 금속은 주성분으로서 유화광물에 농집되어 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 품위가 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 장벽



〈그림 8〉 동(Cu) 1톤 생산에 필요한 에너지와 광석품위와의 관계도(Page and Creasey, 1975)



〈그림 9〉 금속 1톤 생산에 필요한 에너지와 광석품위와의 관계(Page and Creasey, 1975; Cloud, 1978)

이 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 그림 8의 곡선이 올라가는 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 수 km의 심부 고품위 광상의 탐사와 개발이 이루어 질 것이다.

더욱이나 앞으로 닥쳐올 Green Round의 여파로 환경파괴방지의 입장에서 본다면 지표부근의 저품위광의 대규모 개발에 비하여 심부 고품위광

의 개발쪽이 훨씬 바람직 할 것이다.

현재도 남아공의 금광산에서는 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.

그러므로 저품위화와 심부화에 대해 희유원소 광물자원의 대체가 순조롭게 진행된다면 21세기 중에 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 저해요인 중의 하나는 에너지이며, 싼값으로 풍부한 에너지의 공급이 없다면 금속가격의 대폭적인 상승은 피할 수 없을 것이다.

또한 환경문제에 관해서도 특히 심부광상의 개발이 진행된다면 광물자원개발 그 자체의 영향은 별 문제가 없고, 오히려 환경보호를 위해 에너지 비가 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.

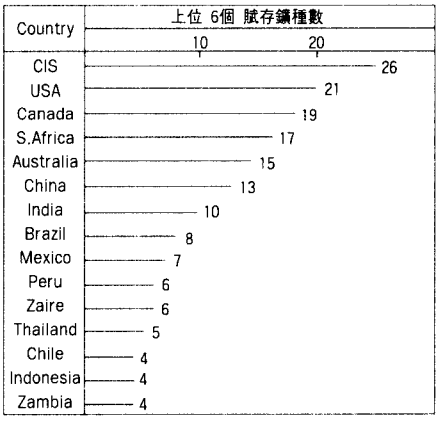
광물자원의 지역적 편재성

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.

〈그림 10〉과 〈표 2〉에서 〈표 6〉까지에 표시한 바와 같이 지구상에서 생산되는 34개 광종을 대상으로 상위 6개 보유국을 선정하여 보유광종수를 종합하여 보면 불과 몇 개 국가만이 비교적 다양한 자원을 보유하고 있음을 알 수가 있다.

한편 용도별로 광종을 분류(〈표 2〉)해 보면 Group별로 차이가 약간 있으나 최저 11개국에서 최대 22개국이 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, 캐나다, 남아공이고 그 뒤를 호주, 중국, 브라질, 페루, 인도 등의 순이 되고 있다.



* 주 : 4광종 이상 보유국만 표시

〈그림 10〉 세계 주요 국별 6위 내 부존 광종수(USBM, 1985)

〈표 2〉 용도별 광종 분류

그룹	용 도	광물의 종류
Ⅰ	Base Metals	Cu, Pb, Zn, Sn
Ⅱ	Light Metals	Al, Mg, Ti
Ⅲ	Steel Industry	Fe, Ni, Mn, Cr, Co, Mo, W, V, Ta, Nb
Ⅳ	Atomic Fuel	Th, Be, REE, Zr
Ⅴ	Electronics	Hg, Se, Te
Ⅵ	Chemical Engineering	P, K, Ba, Sb, F, Bi
Ⅶ	Precious Metals	Au, Pt, Ag, Pd

〈표 3〉 세계 자원부국 중 주요 광종별 및 용도별 매장량 1위를 보유한 국가와 보유 광종수

광물 그룹	광종수	국가수	매장량 1위 보유 광종 수 및 국가명							
			8	7	6	5	4	3	2	1
Ⅰ B.S	4	16	-	-	-	-	-	AUS CND USA	S.Af. RUS	BOL.CHL.IDN.MAL.MEX.PER. THA.GB.ZAM.ZAR. YUG.
Ⅱ L.M	3	13	-	-	-	-	-	AUS	BRZ.CHN IND	GRC.GUN.IDN.JAM.NKOR NOL.S.Af.TRK.RUS.
Ⅲ S.I	10	22	RUS	-	AUS CND	-	S.Af USA	BRZ CHN FIN IND ZAR	CUB.IDN NAG.PHI THA	CHL.GAB.NKOR.NCAL. PER.ZAM.ZIMBW.
Ⅳ A.F	4	13	-	-	-	-	IND S.Af USA	RUS	-	AUS.AGT.BRZ.CHN.CND. MALW.NOL.SRILANKA. SIERRA LEONE
Ⅴ Ele	3	11	-	-	-	-	-	USA	CHL.CND PER.ZAM ZAR	CHN.MEX.SPN.RUS.YUG.
Ⅵ C.E	6	18	-	-	CHN RUS	USA	MEX	CND S.Af	MOR.USA	BRZ.IND.IRK.JPN.MONG
Ⅶ P.M	4	8	-	-	-	-	CND RUS	S.Af	AUS.USA	BRZ.MEX.PER.

* - Based on Ore Reserves of Mineral Facts & Problems(1985)
- Total 46 Countries of Ranking 1st to 6th Country of the Stocked Ore Reserves

* Abbreviations ;

AGT : Argentine	AUS : Australia	BOL : Bolivia	BRZ : Brazil	CHL : Chile
CHN : China	CND : Canada	CUB : Cuba	FIN : Finland	GAB : Gabon
GB : England	GRC : Greece	GUN : Guinia	IDN : Indonesia	IND : India
IRK : Irak	JAM : Jamaika	JPN : Japan	MAL : Malaysia	MALW : Malawi
MEX : Mexico	MONG : Mongolia	MOR : Moroc	NAG : Nigeria	NCAL : New Caledonia
NOL : Nolway	NKOR : N.Korea	PER : Peru	PHI : Philippine	RUS : Russia
S.Af : S.Africa	SPN : Spain	SRI : Srilanka	THA : Thailand	TRK : Turkey
USA : America	YUG : Yougoslavia	ZAM : Zambia	ZAR : Zaire	ZIMBW : Zimbabwe
B.S : Base Metal	L.M : Light Metal	S.I : Steel Industry		A.F : Atomic Fuel
Ele : Electronics	C.E : Chemical Engineering		P.M : Precious Metal	

〈표 4〉 세계 주요 금속광물의 국별 매장량

철 광			동 광			금			주 석 광		
국가명	매장량 (10^6M/T)	%	국가명	매장량 (10^3M/T)	%	국가명	매장량 (M/T)	%	국가명	매장량 (10^3M/T)	%
1. USSR	59,900	29.0	Chile	97	19.0	S.Africa	24,882	53.7	Malaysia	1,110	34.0
2. Australia	33,500	16.2	USA	90	17.6	USA	3,110	6.7	Indonesia	680	20.9
3. Canada	25,500	12.3	USSR	36	7.1	Canada	1,555	3.4	Thailand	270	8.3
4. USA	25,200	12.2	Zambia	34	6.7	Brazil	1,205	2.6	Brazil	220	6.7
5. Brazil	16,500	8.0	Peru	32	6.3	Australia	933	2.0	Australia	180	5.5
6. S.Africa	9,400	4.5	Canada	32	6.3	Papua N.G	778	1.7	Bolivia	140	4.3
7. China	9,100	4.4	Zaire	30	5.9	Philippines	622	1.3	U.K.	90	2.8
8. India	7,200	3.5	Philippines	18	3.5	Zimbabwe	467	1.0	USSR	80	2.5
9. Sweden	4,600	2.2	Australia	16	3.1	Colombia	-	-	China	80	2.5
10. Liberia	5,800	2.9	Poland	15	2.9	Chile	-	-	Zaire	20	0.6
France											
Venezuela											
(소 계)	(193,700)	(93.7)		(400)	(78.4)		(33,552)	(72.4)		(2,940)	(90.2)
기 타	13,100	6.3		110	21.6		12.752	27.6		320	9.8
총 계	206,800	100.0		510	100.0		46,304	100.0		3,260	100.0

* -Based on Ore Reserves of Mineral Facts & Problems(1985)

〈표 5〉 세계 주요 비금속광물의 국별 매장량

알루미늄(Bauxite)			장석(K20)			형 석		
국가명	매장량 (10^6M/T)	%	국가명	매장량 (10^6M/T)	%	국가명	매장량 (10^6M/T)	%
1.Guine	5,900	26.6	Canada	9,700	55.4	S.Africa	119	16.7
2.Australia	4,600	20.7	USSR	3,800	21.7	USSR	114	16.1
3.Brazil	2,212	10.0	E.Germany	1,000	5.7	China	77	10.8
4.Jamaica	2,000	9.0	W.Germany	600	3.4	Mongolia	72	10.0
5.India	1,200	5.4	Israel	600	3.4	Mexico	66	9.3
6.Guiana	900	4.1	Jordan	600	3.4	Spain	27	3.9
7.Greece	650	2.9	USA	360	2.1	France	22	3.2
8.Yugoslavia	400	1.8	France	50	0.3	Italy	22	3.2
9.USSR	300	1.3	Spain	50	0.3	U.K.	11	1.5
10.Hungary	300	1.3	U.K.	30	0.2	Thailand	8	1.1
(소 계)	(18,462)	(83.1)		(16,790)	(95.9)		(538)	(75.8)
기 타	3,740	16.9		710	4.1		172	24.2
총 계	22,202	100.0		17,500	100.0		710	100.0

* -Based on Ore Reserves of Mineral Facts & Problems(1985)

〈표 6〉 세계 주요 에너지자원의 국별 매장량

원 유			천연가스			석 탄			우라늄		
국가명	매장량 (10^6bbl)	%	국가명	매장량 (bil.ft^3)	%	국가명	매장량 (10^9M/T)	%	국가명	매장량 (10^3M/T)	%
1.Saudi Ar	169,000	24.2	USSR	1,450,000	42.6	USSR	5,926	43.5	USA	407.2	20.4
2.USSR	63,000	9.0	USA	198,000	5.8	USA	3,600	26.4	Australia	336.0	16.8
3.Mexico	48,600	7.0	Algelia	109,100	3.2	China	1,465	10.8	S.Africa	313.0	15.7
4.Iran	48,500	6.9	Canada	92,300	2.7	Australia	780	5.7	Canada	185.0	9.3
5.USA	27,300	3.9	Mexico	77,000	2.3	E.Germany	285	2.1	Niger	160.0	8.0
6.Venezuela	25,845	3.7	Netherland	68,482	2.0	W.Germany	280	2.0	Namibia	135.0	6.8
7.China	19,100	2.7	Venezuela	55,367	1.6	Poland	184	1.4	France	67.5	3.4
8.U.K.	13,590	1.9	Indonesia	40,000	1.2	India	114	0.8	Gabon	23.3	1.2
9.Indonesia	8,650	1.2	U.K.	27,800	0.8	S.Africa	92	0.7	Spain	20.2	1.0
10.Canada	7,075	1.1	Australia	17,850	0.5	U.K.	90	0.7	Portugal	8.2	0.4
(소 계)	(430,660)	(61.6)		(2,135,899)	(62.7)		(12,816)	(94.2)		(1,655.4)	(82.8)
기 타	268,007	38.4		1,266,126	37.3		793	5.8		344.6	17.2
총 계	698,667	100.0		3,402,025	100.0		13,609	100.0		2,000.0	100.0

* -Based on Ore Reserves of Mineral Facts & Problems(1985)

〈표 7〉 세계 주요 광물자원의 가행 가능년수

광 종	가행년수	광종	가행년수
마그네사이트	467	안티모니	90
크롬광	376	중석광	78
장석광	346	니켈광	76
보오카사이트	238	모리브덴광	56
니오비움	225	동광	41
중정석	185	금	35
코발트광	150	연광	26
망간광	114	아연광	25
철광	101	유황	22
인광	98	은	20
형석	96	타이타늄광	16

* Data Based on the Ore Reserves and Annual Production From Mineral Facts & Problems (1985).

〈표 8〉 우리 나라 국민 1인당 광물자원 소비추이 (단위: M/T).

광 종	1980	1985	1990	1992	1994	1996
금속광	(18) 10,020,165	(16) 12,553,146	(17) 22,454,684	(17) 34,120,182	(14) 35,912,908	(15) 36,203,282
비금속광	(25) 33,175,678	(25) 42,639,062	(28) 57,840,041	(27) 75,639,876	(26) 95,524,437	(28) 101,800,523
석탄 (무연탄 + 유연탄)	(2) 25,862,000	(2) 40,036,600	(2) 42,855,000	(2) 39,317,000	(2) 42,036,000	(2) 49,410,000
석유	23,163,756	24,065,095	45,327,593	65,409,293	79,054,546	91,719,214
천연가스(LNG)	-	-	2,328,000	3,524,000	5,860,000	9,361,000
석재	1,183,000	1,546,000	2,017,000	1,120,000	1,606,000	1,868,000
석골재	36,553,600	73,744,000	115,766,400	175,774,400	204,113,600	222,446,400
총 계 (톤)	(48) 129,958,199	(46) 194,583,903	(51) 288,588,718	(50) 394,904,751	(46) 464,107,491	(49) 512,808,419
인 구 (천명)	38,124	41,056	42,869	43,663	44,642	45,545
1인당 광물소비량	3.41 t/p	4.74 t/p	6.73 t/p	9.04 t/p	10.40 t/p	11.26 t/p

* 자료 : ① 産業資源部(1980-1997) : 鑛産物 需給現況
② 통계청(1998): 대한민국50년. 통계로 본 대한민국50년의 경제사회상 변화, 557pp.
③ 李信雨(1992) : 國內石材產業 育成方案硏究. 에너지經濟硏究院, 硏究報告書, 92-05, 137pp.
④ 韓國資源硏究所-產業資源部(1999) : 骨材資源賦存調査—京畿道 南部 陸上, 山林骨材 및 龍遊島海域 바다骨材. 第1卷, 703pp.
⑤ 산업자원부-석탄산업합리화사업단(1998) : 석탄통계연보, 294pp.
⑥ (51) : 광종수

〈그림 10〉과 〈표 3〉에서 보는 바와 같이 세계 광물자원의 대부분은 개발도상국에 편재되어 있어서, 21세기 동안에는 물리적인 고갈의 걱정은 없더라도 빈곤을 원인으로 하는 이들 도상국의 정치불안이 광물자원의 공급에 차질이 생길 위험이 있다. 더군다나 빈곤은 인구폭발을 수반하여 환경파괴와 식량부족을 가속시키게 되는 것이다.

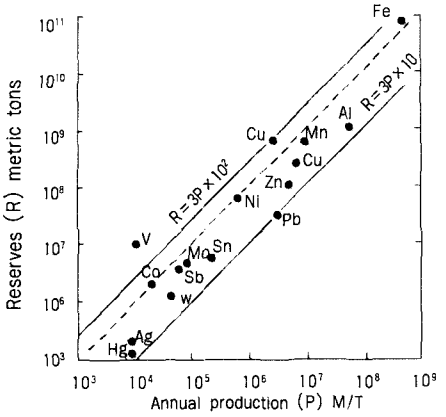
한편 광물자원의 매장규모를 표시하는데는 ***"가행년수 = [매장량(R)/생산량(P)]"*** 를 흔히 이용하는데, 이는 정적인 개념으로 연도에 따라 변화되어 절대성을 지니는 것은 아니지만, 상대적으로 풍부한가를 대비하여 준다는 점에서 의미를 지니고 있다.

세계 주요 광종에 대해 가행년수를 구해본 결과를 〈표 7〉에 표시하였다. 단 여기서 매장량은 현재의 기술과 가격으로 경제성이 있다고 평가된 양만을 대상으로 하여 미국 광무국의 자료를 인용하였고, 생산량은 가능한 한 최근의 통계치를 채택하였다.

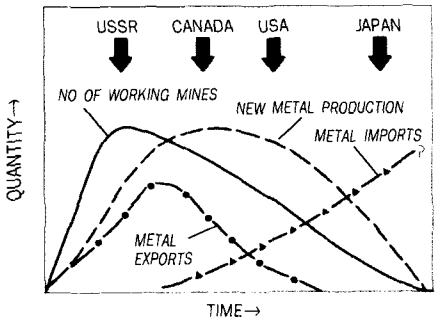
그러나 자원의 수명이 꼭 R/P치가 지시하는 그 후에는 완전히 끝나는 것은 결코 아니다. 기술의 발전에 따라 생산비가 저하되고 또한 새롭게 광량을 확보하려는 노력이 계속되기 때문에 전체적으로는 거의 비슷한 수준을 유지하는 추이를 보이게 된다. 이는 물론 단기적인 상황에서의 경우이고, 광물부존의 한계성 때문에 먼 미래까지도 이 논리를 적용할 수는 없을 수도 있을 것이다.

〈표 7〉에서와 같이 세계 광물자원 중 마그네사이트는 460 여 년 동안 가행히 가능하며, 100년 이상 생산가능 광종은 크롬, 장석, 보키싸이트, 니오비움, 중정석, 코발트, 망간, 철광석 등 9개 광종이고, 50년 이상 생산가능 광종은 인광석, 형석, 안티모니, 중석광, 니켈, 모리브덴광 등 6개

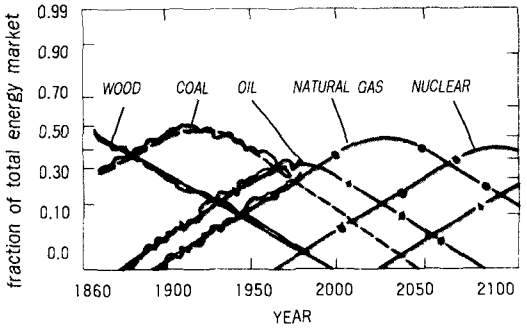
광종이다. 그러나 우리 생활에 밀접한 관계를 갖고 있는 기초금속과 귀금속류는 40년 미만의 생산수명을 보여 주고 있다.



〈그림 11〉 세계 주요 광물자원의 매장량과 생산량의 상관관계



〈그림 12〉 세계 선진국에서의 광업과 금속생산 상관관계도 (Hewett, 1929; Skinner, 1989)



〈그림 13〉 미래 에너지원에 대한 Darmstadter(1986)의 예견
SOLFUS(Solar and fusion) has yet to be achieved.

세계 광물자원의 매장량과 생산량의 관계(〈그림 11〉)를 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.

유명한 지질학자 Hewett(1929)는 유럽에서의 광물자원의 탐사와 개발자료를 근거로 하여 〈그림 12〉를 제시하여 당시 모든 광물자원에 적용하였고, 여기에 Skinner(1989)가 추가하여 그림을 보완 한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 생산광산수에서 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.

〈그림 13〉은 세계 에너지 시장에서의 에너지자원에 대한 미래를 Darmstadter(1986)가 예측한 역사적 자료이다.

산림자원과 석탄자원은 그 이용의 한계점을 지나 감소추세에 있으며, 석유의 경우는 현재 이용면에서 정점에 달하였으며, 천연gas와 핵연료는 아직 상승상태에 있으며, 다가오는 미래의 에너지원은 SOLFUS(solar and fusion) Energy가 개발되어야 할 것이다.

Skinner(1989)는 아직 미탐사 자원을 전문가의 노력으로 광물자원화 된다면, 현재 우리가 이용하고 있는 화석연료는 21세기 동안에는 충족될 것으로 예측하고 있다.

그리고 또 다른 지질학적 관점에서 본다면 21세기의 중요 대체에너지원은 지구내부로부터 얻을 수 있는 잠재력이 있는 막대한 지열에너지를 꼽을 수 있을 것이다.

맺음말

지구상에서 우리 인간에 의한 다량의 광물자원의 소비는 하나의 커다란 지질영력이 되고 있으며, 특히 세계인구가 증가하여 위험 수위까지 팽창할 때는 더더욱 심화될 것이다. 하지만 앞으로 지구상의 광물자원의 공급은 싼 값에 풍부한 에너지 공급만 있다면 다음 세기 중에 인류문명에 위험을 줄만한 광물자원의 고갈이 물리적으로는 일어나지 않을 것이다.

그러나 광물자원은 지구상에 지역적 편재성을 가지고 분포하기 때문에 앞으로 계속 큰 문제를 야기할 것이다. 대부분의 광물은 그 가격과 공급원에 따라서 많은 변화를 가져 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 종합적으로 전망할 수 있는 안목을 키워 나가야 될 것이다.

(원고 접수일 1999. 6. 4)

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.

산업자원부, 1998, 석탄통계연보. 석탄산업합리화사업단, 294pp.

商業資源部, 1980-1998, 鑛山物 需給現況('80~'98).

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10回 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.

이경한, 김대형, 최걸, 유옥정, 1999, 石灰石 流通構造 分析 研究. 韓國資源研究所, 資源動向分析資料 電算化 및 資源流通 研究, 研究報告書, KR-98(C)-41, 112pp.

李京漢 外, 1987, 國內資源에너지 動向分析에 關한 基礎研究. 科技處-動資研, KR-86-2-(B)-11, 134pp.

李京漢, 황기형, 1992, 一般鑛 長期需要 豫測研究. 資源研 研究報告書, KR-91-6A-3, 97pp.

이동영 外, 1993, 骨材資源 調査 報告書. 資源研 研究報告書.

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.

日本資源地質學會, 1992, 西曆 2,000年의 資源地質. 資源地質 特別號 13, 220pp.

林 炳宰 外, 1992, 21世紀 에너지 需要展望과 政策課題. 112pp, 에너지 經濟研究院.

統計廳, 1991, 韓國統計年鑑. 38號, 611pp.

Bureau of Mines, 1985, Mineral Facts & Problems, U.S.A.

Bureau of Mines, 1985, Minerals Year Book, I, II , III., U.S.A.

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).

Korea Development Institute, 1986, Korea Year 2,000.

Ogawa Katsuro, 1992, 21世紀를 向한 資源과 環境. 地質 News, 449號,-3, 日e),e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 21ts Century : an supplies meet needs?, Episodes, v. 12, n. 4, 267-275.