

광물자원 프로젝트의 기술성 및 경제성 평가 기법

조성준¹⁾

Technical and Financial evaluation for mineral project

Seong-Jun Cho¹⁾

Abstract: In order to invest in overseas mineral projects, it is necessary to have a ability of technical and financial evaluation. Reserve estimation is the most important for mineral appraisal. Geostatistical evaluation of tonnage and grade promises more accurate reserve estimation than traditional methods such as polygon, inverse distance method and so on even if it has some uncertainty. Selection of a mining method and a mineral processing is also important because capex and opcosts of a mineral project is due to the selection. Mineral project is usually evaluated financially using NPV and IRR which are calculated through DCF(Discount Cash Flow). Uncertainty of a mineral project is analyzed statistically using sensitivity analysis and montecarlo simulation.

Keywords: mineral appraisal, technical evaluation, financial evaluation, DCF

1. 서론

1990년대 광물자원 공급과잉에 따른 자원가격의 하락은 전 세계 자원개발 산업의 침체와 신규투자 감소로 이어졌다. 그러나 2000년대에 들어서 세계시장의 활황과 중국을 비롯한 신흥공업국의 급성장은 세계 자원 시장의 판도를 바꾸어 버렸다. 자원수요의 급증으로 자원시장은 구매자시장에서 판매자시장으로 바뀌었고, 2008년 상반기까지의 광물자원가격은 2002년 대비 평균 4배 이상 상승되었다. 현재 금융위기 속에 자원가격이 급락하였지만 2005년도 수준을 유지하고 있으며, 2002년에 비하면 2배 이상 상승된 가격을 유지하고 있다.

그러면 앞으로의 자원가격과 수급전망은 어떻게 될 것인가? 국가의 발전과 자원

1) 한국지질자원연구원 광물자원연구본부(Mineral Resources Research Div., KIGAM),
mac@kigam.re.kr

소비량은 비례관계가 있으며, 1인당 GDP와 1인당 자원소비량을 비교해 보면 전 세계적인 경향을 파악할 수 있다. 1인당 GDP가 증가하면 1인당 자원소비량도 증가하다가 1인당 GDP가 1만불 정도 되면 자원 소비량이 정체된다. 중국은 2005년도 기준 1인당 GDP 1710불 수준이며, 1인당 자원 소비량은 선진국이나 우리나라 대비 1/5 수준이다. 그럼에도 2005년도 기준으로 중국의 광물자원 소비량은 주요광종을 대상으로 할 때 전 세계 소비량의 평균 30%에 육박한다. 중국의 경제가 경착륙 한다고 가정해 경제 성장률을 7%로 예상하면 2015년 중국의 구리, 아연, 납, 니켈의 소비량은 2005년도 소비량 기준으로 전 세계 소비량의 50%~90%에 해당하며, 13% 성장시 2015년 금속소비량은 2005년 기준으로 전세계 소비량의 약 100~240%에 해당한다(최선규 등, 2008). 중국만 해도 이렇진데 인도를 포함한 Brics 전체를 상정하면, 광물자원의 부족을 넘어선 결핍은 당장 5, 6년 후의 일이 될 것이며, 국제 금융위기에 의해 조정기를 거치고 있는 광물자원의 가격은 1~2년 이후에는 급등할 것을 쉽게 예상할 수 있다.

한편, 한국은 철강, 조선, 자동차, 반도체, 가전업종이 주도하는 제조업 기반의 산업구조로 주요금속의 1인당 소비량이 5위 이내에 드는 자원 다소비 국가의 특징을 가지고 있다(최선규 등, 2008). 국내 산업계의 높은 경쟁력은 원료광석의 안정공급이 지속적으로 확보되는 상태를 기본 전제로 하고 있으며, 국가 전략적 차원에서 에너지·광물자원 자주 개발을의 제고가 절실히 요구되는 실정이다. 또한 자원산업은 고수익 창출이 가능한 신성장산업으로 인식되고 있다. Table 1에서와 같이 주요 광업회사는 2003~2007년간 연평균 26~65%의 매출증가율과 20%이상의 순이익률을 기록했는데 이는 일본 제조업 수익률 1.5~11.0%에 비해 매우 높은 것임을 알 수 있다.

Table 1. Management performance of mining majors (삼성경제연구소, 2008)

(단위 : 백만달러, %)

구 분	2003년		2005년		2007년		2003~07년 연평균 매출증가율
	매출	순이익률	매출	순이익률	매출	순이익률	
BHP 빌리턴(호주)	15,608	11.9	29,587	21.6	39,498	33.3	26.1
리오틴토(호주)	9,228	16.3	19,033	26.1	29,700	26.1	33.9
발레(브라질)	5,545	27.0	12,792	37.8	19,651	33.2	52.5
코델코(칠레)	3,782	16.0	10,491	46.7	17,077	54.0	65.3

- 주) 1. 발레와 코델코의 매출액과 순이익률은 2006년 수치
2. 기업매출액은 광물을 포함한 모든 상품매출액 기준

우리나라의 국내 자원개발은 1980년대를 기점으로 사양산업화 되었으며, 현재 자원가격의 상승에 힘입어 재개발하는 광산이 늘어나고 있는 있으나 주요 금속광물의 자급률은 1% 미만에 머무르고 있다. 한편, 국외에서는 1977년 산안토니오 우라늄 광, 1981년 마두라 유전을 시작으로 해외자원개발에 뛰어들어 자주 개발률을 높이고자 하였으나 1998년 IMF 외환위기로 인해 많은 해외자원 개발사업에서 철수하면서 광물자원분야의 대외적인 종속이 심화되었다. 이후 2002년부터 정부는 적극적인 해외자원개발에 나서 2007년말 현재 127개 기업이 37개국 27광종 163개 사업에 진출해 있다. 제 3차 해외자원개발 기본계획(2007~2016)에는 2016년 까지 6대 전략 광종(철, 우라늄, 유연탄, 동, 아연, 니켈)에 대해 2006년도에 16.6%에 불과하던 자주개발율을 2016년까지 38%로 제고하는 목표를 설정하고 있다.

해외자원개발은 지분참여 형식의 투자사업이 대부분을 이루며, 현재까지 가장 요구되는 기술은 프로젝트의 사업성 평가기술이다. 그런데 자원개발사업은 광물의 한정된 매장량에 의해 생산 및 수익기간이 정해져 있고 채광, 선광, 인프라 건설등 초기 시설 투자비가 높은 자본집약적 산업이다. 또한 초기 탐사에서 개발, 생산 및 자금회수에 이르기까지 매우 긴 회수기간이 필요하며 환경영향평가, 폐광시 잔존 시설물 철거, 산림복구 등 환경문제의 해결이 매우 중요하다. 더우기 한정된 생산 능력과 긴 투자기간으로 인해 시장환경에 신속한 대응이 어려운 비탄력적 산업이며 일반적인 사업 risk외에 광황악화나 암반붕괴등 기술적 리스크, 국가 정치불안, NGO등 환경단체들에 의한 사업 방해등 다양한 리스크가 존재하는 특징을 가지고 있어 일반 사업에서의 사업타당성 평가와는 다른 평가기술을 요구하게 된다.

본 논문은 해외자원개발시 투자시 고려사항에 대한 이해를 돕기 위해 발표하는 것으로, 자원개발 프로시저에 대해 기술하고, 광물자원 프로젝트의 기술성 평가 및 경제성 평가 방법에 대해 사례를 중심으로 기술하겠다.

2. 자원개발 프로시저

자원개발은 탐사, 탐광, 개발, 생산, 환경복구에 이르기까지 많은 시간과 자본이 투여되는 사업으로 각 단계별 투자 시 검토해야 사항이 달라지게 된다. Table 2는 각 단계별 세부 사항을 정리한 것으로 탐사 단계는 보통 1년에서 3년 정도의 시간이 걸리며 탐사기법은 광상조사, 지구화학, 물리탐사이며 문헌조사나 구 광산 조사등을 통해 탐사 위치를 선정하게 된다. 항공사진, 항공물리탐사, 원격탐사등이 매우 중요한 역할을 하고 지표물리탐사와 광상조사가 수반되며 광화대의 탐지가 주 목

Table 2. Stage in the Life of a Mine (Hartman and Mutmanský, 2002)

Stage/ (Project Name)	Procedure	Time	Cost/Unit Cost
<i>Precursors to Mining</i>			
1. Prospecting (Mineral deposit)	Search for ore a. Prospecting methods Direct: physical geologic Indirect: geophysical, geochemical b. Locate favorable loci (maps, literature, old mines) c. Air: aerial photography, airborne geophysics, satellite d. Surface: ground geophysics, geology e. Spot anomaly, analyze, evaluate	1-3 yr	\$0.2-10 million or \$0.05-1.00/ton (\$0.05-1.10/tonne)
2. Exploration (Ore body)	Defining extent and value of ore (exmination/evaluation a. Sample (dfilling or excavation), assay, test b. Estimate tonnage and grade c. Valuate deposit (Hoskold formula or discount method): present value = income - cost Feasibility study: make decision to abandon or develop.	2-5 yr	\$1-15 million or \$0.20-1.50/ton (\$0.22-1.65/tonne)
<i>Mining Proper</i>			
3. Development (Prospect)	Opening up ore deposit for production a. Acquire mining rights	2-5 yr	\$10-500 million or \$0.25-10.00/ton (\$0.275-11.00/tonne)

	(purchase or lease), if not done in stage 2		
	b. File environmental impact statement, technology assessment, permit		
	c. Construct access roads, transport system		
	d. Locate surface plant, construct facilities		
	e. Excavate deposit (strip or sink shaft)		

4. Exploitation (Mine)	Large-scale production of ore	10-30 yr	\$5-75 million/yr or \$2.00-150/ton (\$2.20-165/tonne)
	a. Factors in choice of method: geologic, geographic, economic, environmental, societal safety		
	b. Types of mining methods Surface: open pit, open cast, etc. Underground: room and pillar, block caving, etc.		
	c. Monitor costs and economic payback (3-10 yr)		

Post-mining

5. Reclamation (Real estate)	Restoration of site	1-10 yr	\$1-20 million
	a. Removal of plant and buildings		\$0.20-4.00/ton (\$0.22-4.40/tonne)
	b. Reclamation of waste and tailings dumps		
	c. Monitoring of discharges		

적이 된다. 탐광단계에서는 정밀탐사와 분석을 통해 광체의 매장량과 품위를 확정하고 평가된 광량을 기초로 경제성평가를 수행하기 된다. 또한 사업타당성 조사(F/S)를 수행해 가채광량을 정밀 산정하고 이를 바탕으로 광산설계를 하고 광산 인프라 및 선광/제련 플랜트 설계를 한다. 또한 환경영향평가와 자금조달방안, 생산, 판매계획을 확정하게 된다. 이 단계에서 주니어 광산회사들은 메이저 광산 회사들과 조인트 벤처를 설립해 자금조달을 받게 된다.

개발단계는 FS가 끝난 후 생산을 위한 준비 단계로 표토층을 제거하고 채광시설 및 선광, 제련 시설을 건설하고 전력, 도로, 항만, 적치장등 광산인프라를 건설한다. 이 단계에서 조인트 벤처는 다른 투자자를 모집하고, 투자은행으로부터 프로젝트 파이낸싱을 받게 된다. 생산단계는 실질적으로 광물을 회수하여 매출이 발생하고 수익을 창출하는 시기로 생산량을 최적화시켜 비용을 최소화하게 된다. 채광법의 선정은 이미 FS에서 결정이 되는데, 지질학적인 상황, 지형적인 요소, 환경적인 요소, 경제성 등을 고려해 이루어진다. 환경복구는 광산 폐광후 이루어지는 작업으로 이미 투자 단계에서 비용으로 산정되어 있으며, 중요성이 계속 커지는 분야이다. 환경복구는 광산설계시부터 고려되어야 하며, 비용 측면에서 광산개발비용과 환경복구비용의 전체합이 최소화 되도록 광산을 개발해야한다.

3. 광물자원 프로젝트 기술성 평가

광물자원 프로젝트의 기술적인 평가 중 가장 중요한 것은 매장량과 품위의 평가이다. 매장량은 resources 와 reserve로 나뉘어지는데 resource는 지질학적인 매장량이며, reserve는 가채광량을 나타낸다. resource는 탐사를 통해 확인된 것으로 inferred, indicated, measured resource 로 구분되며, indicated resource는 probable reserve, measured resources는 proved reserve와 직결된다(Fig. 1). 지질학적인 매장량의 분류는 각 국가마다 나뉘는 기준(호주: JORC code, 캐나다:NI43-101, 남아공: SAMREC code 등)이 있는데 러시아 및 CIS 국가는 Table 3과 같이 분류하는데 여기서 A,B 급은 지표지질, 갱도, Pit, 시추 등을 통해 20m 간격으로 확인된 구역이며, C1급은 지표지질, 갱도, Pit, 시추 등을 통해 10~30m 간격으로 확인된 구역, C2급은 C1의 주변부 및 노두 등이 50m 간격으로 확인되는 구역, P1급은 C1, C2에 비해 탐사가 미진하여 광맥의 폭과 연장 등이 간헐적 구역, P2-3급은 광역지질조사에 의해 광맥의 폭과 연장이 파악되는 구역으로 구분된다.

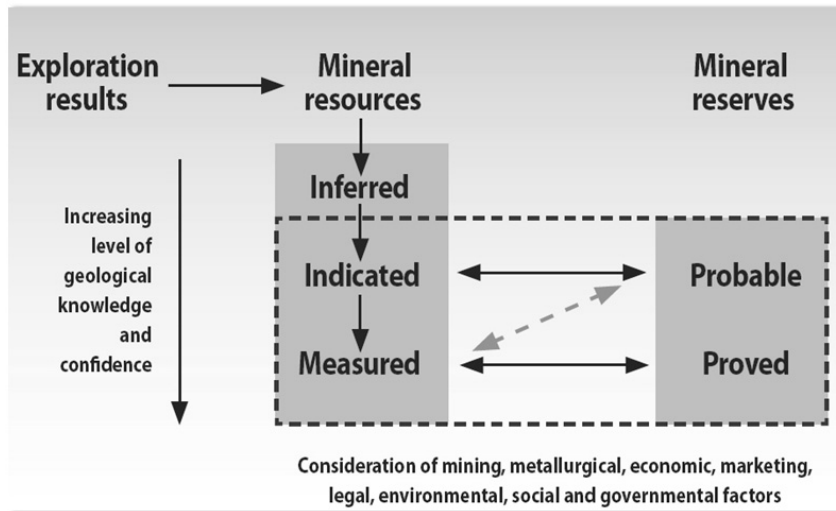


Fig. 1. Classification of mineral tonnage(JORC, NI43-101, SAMREC)

Table 3. Classification code of mineral tonnage of Russia and CIS countries

구분	탐 사	개 발	구 분	비 고
A	세부탐사 시행지역	개발지역	채광계획 설정	
B			채광계획 미설정	
C ₁			부분적 시추시행	
C ₂	미탐사 지역	미개발지역	시추 미시행지역으로 광물부존지역	
P ₁				
P ₂			-	
P ₃				

이를 Fig 1의 매장량 분류법을 이용해 분류하면 Fig 2과 같으며, 광체를 얼마의 간격으로 확인했는가에 따라 measured, indicated, inferred로 분류됨을 알 수 있다.

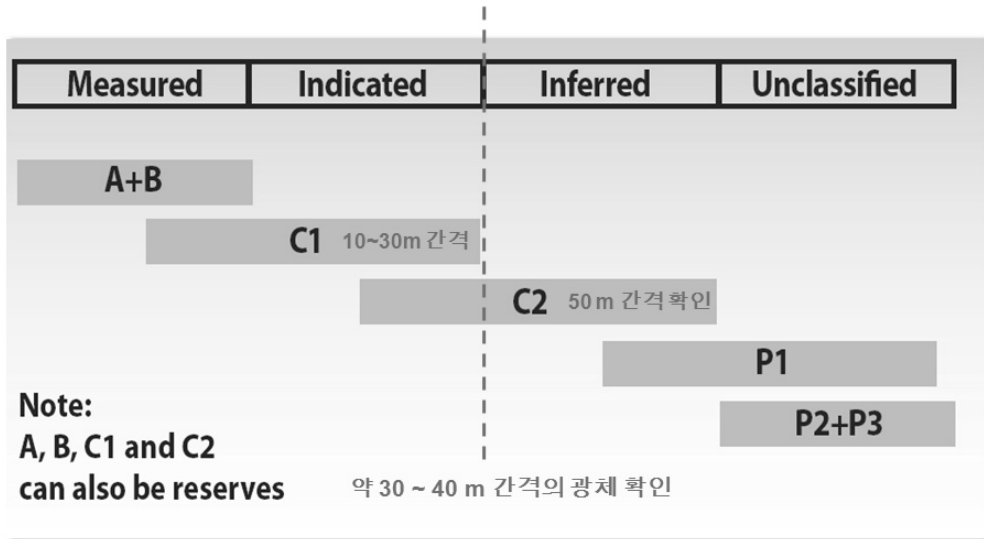


Fig 2. Reclassification of code of Russian and CIS countries based on JORC

Table 4는 우리나라의 분류기준을 다른나라와 비교한 것이다. measured에 해당하는 것이 확정매장량이며, indicated에 해당하는 것이 추정매장량, inferred 에 해당하는 것이 예상매장량이다.

Table 4. Comparison of resource classifications of Korea, USA and Russia(윤운상 2008)

	<- Discovered ->			<- Undiscovered ->			
미국	Identified Resources			Undiscovered Resources			
	Demonstrated		Inferred	Hypothetical	Speculative		
	Measured	Indicated					
한국	매장량						
	확정	추정	예상	기대광량			
	가채광량						
사회주의국가 (러시아) (몽골) (베트남)	A	B	C ₁	C ₂	P ₁	P ₂	P ₃
	정밀조사			기본조사		예비조사	
	개발중		미개발	Prospective Reserves	Forecast Reserves		

매장량 추정 기법은 전통적인 방식과 지구통계학을 이용한 방식이 있다. 전통적인 방식은 다각형법, 삼각형법, 근거리법, 거리반비례법 등이 있으며, 지구통계학을 이용한 방식은 1990년대 이후 많이 사용되는 방식으로 3D 지질모델링 소프트웨어들은 기본적으로 탑재를 하고 있다.

지구통계학을 이용한 품위 추정은 베리오그램을 이용하여 품위계산을 위한 가중치의 공간분포를 구하는 것으로 대표적인 방법이 크리깅이다. 그런데 지구통계학을 이용한 방법에도 사용하는 기법에 따라 많은 불확실성을 내포하고 있다. 각 시추공들의 품위 자료들의 분산이 크면 크리깅에 의한 품위 분포 추정에는 많은 불확실성이 내포된다. 이 경우에는 시뮬레이션을 이용한 방법도 하나의 대안이다. 또한 어떠한 베리오그램을 선택하느냐에 따라 추정값이 달라진다. 따라서 지구통계학을 이용한 매장량 및 품위 추정에도 불확실성이 많이 내포됨을 알고 어떠한 방식을 이용해 값을 구했는지를 확인하고 검토해야 한다. 지구통계학에 대한 자세한 내용은 최종근(2008)을 참고하기 바란다.

채광법의 선정은 CAPEX(자본비용)과 OpCost(운영비용)의 계산에 직접적인 영향을 주며 선정방식은 다음의 조건을 고려하여 하게 된다.

- 광체의 특성
 - 형상, 크기, 경사 및 주향, 연속성 등
- 광체의 품질
 - 품위, 가치, 분포상태, 광물구성, 강도, 구조지질적 특성 등
- 모암의 특성
 - 강도 및 구조지질적 요인
- 외부적 요인
 - 지리학적 특성, 기후 등
- 채광지역의 경제적 요인
 - 노동력 확보 상태, 동력 확보 상태, 자재 공급 상태 등
- 채광지역의 산업적 요인
 - 생산물에 대한 장기적인 수요의 안정성
- 생산물의 가격 동향
 - 수요와 가격 변동이 생산가격에 미칠 수 있는 영향 등

Table 5는 채광법에 따른 상대비용을 비교한 것으로 상대비용이 가장 높은 Quarrying method 와 Square-set stoping을 100으로 하고 상대적인 비용을 표시한 것이다.

Table 5. Classification of Mining Methods (Harman and Mutansky, 2002)

Locale	Class	Subclass	Method	Commodities	Relative Cost (%)		
Surface (노천채굴)	Mechanical (기계력)	—	* Open pit mining	Metal, nonmetal	5%		
			Quarrying	Nonmetal	100		
			* Open cast (strip) mining	Coal, nonmetal	10		
			Auger mining	Coal	5		
	Aqueous (유체력)	Placer	Hydraulicking	Metal, nonmetal	5		
			Dredging	Metal, nonmetal	< 5		
		Solution	Borehole mining	Nonmetal	5		
			* Leaching	Metal	10		
			Unsupported (무지지채굴법)	—	* Room-and-pillar mining	Coal, nonmetal	20
					Stope-and-pillar mining	Metal, nonmetal	10
Shrinkage stoping	Metal, nonmetal	45					
* Sublevel stoping	Metal, nonmetal	20					
Supported (지지채굴법)	—	* Cut-and-fill stoping		Metal	55		
		Stull stoping		Metal	70		
		Square-set stoping		Metal	100		
		Caving (붕락채굴법)		—	* Longwall mining	Coal	15
Sublevel caving	Metal		15				
* Block caving	Metal		10				

* Asterisks indicate the most important and commonly used methods.

자원처리(선광)은 광석을 선별분리하는 일련의 공정으로서 채굴된 조광을기계적·물리적·화학적 처리를 통하여 이용 가능한 자원으로 만들거나 이후 제련을 위한 정광을 만드는 작업이다. Fig. 3은 채광후의 선광 및 제련공정에 대한 공정도이다. 파분쇄는 파쇄공정(crushing process)와 분쇄공정(grinding process)로 나뉘어 지며, 파쇄공정은 건식공정으로 주로 압축 및 충격에 의한 입도축소공정이고, 분쇄공정은

주로 충격 및 마모에 의한 입도축소 공정으로 건식 또는 습식공정으로 이루어진다. 분립은 파분쇄된 광석을 입자크기 별로 분리시키는 공정으로 체질(sieving)과 분급(classification)공정으로 대별된다. 선별은 분립된 광석을 물리화학적 성질을 이용하여 분리해 내는 것으로 비중선별, 자력선별, 정전선별, 와전류선별, 부유선별등이 있다. 대부분의 황화광물, 금속산화광물, 원소광물등에 사용하는 부유선별은 정광에서 수분의 제거가 필수적이며 농축, 여과, 건조의 단계를 거쳐 정광을 제조하게 된다. 제련은 정광으로부터 금속을 얻는 공정으로 크게 건식제련과 습식제련으로 나뉘어진다. 건식제련(pyrometallurgy)은 연료의 연소나 전기열로 광석을 가열, 산화, 환원, 용융시켜 금속을 채취하는 공정이고 습식제련(hydrometallurgy)는 산,알칼리등의 수용액으로 광석중의 금속성분을 추출하는 공정으로 침출(leaching)이 대표적이다. 한편 정련(refining)은 제련에 의해 얻어진 금속 내에 함유된 불순물을 제거하는 공정으로 습식과 건식법이 있다.

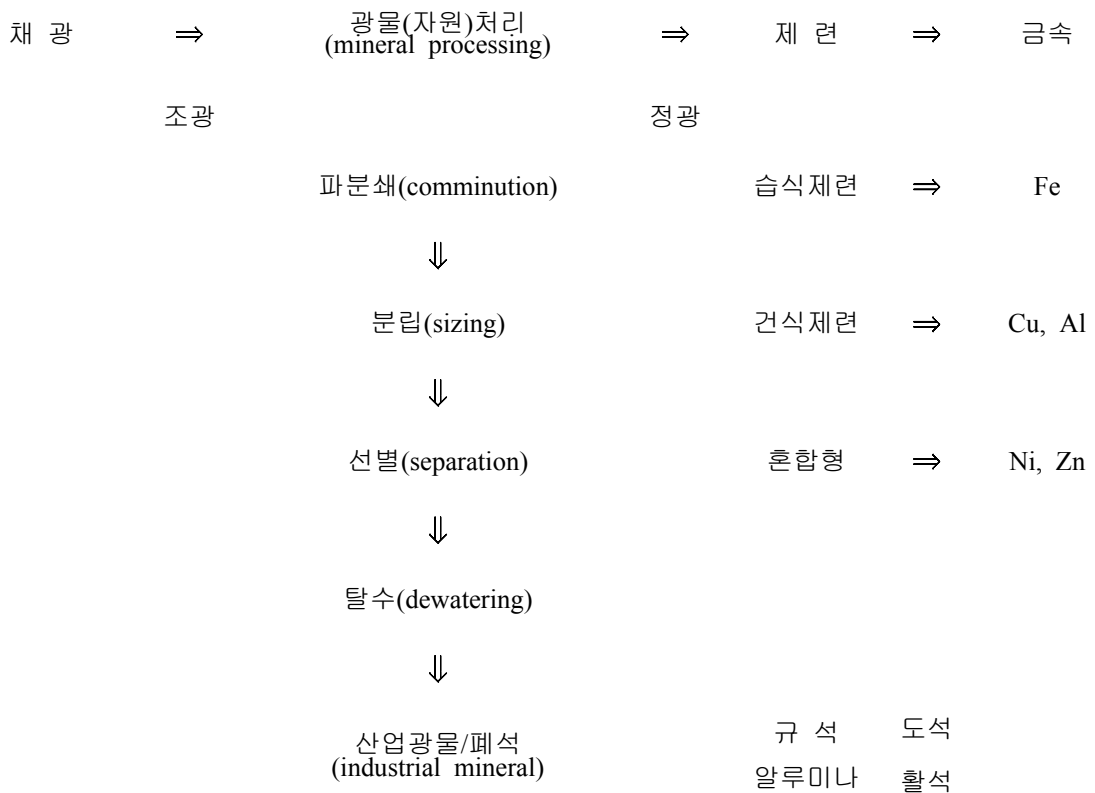


Fig. 3. Flow chart of mineral processing and metallurgy(손정수, 2008)

선광 및 제련공정은 금속의 회수율과 직접관련이 되며, 특히 금속광의 자본 및 운용비용의 2/3이상을 차지하기 때문에 경제성을 감안한 최적화된 공정의 선택이 매우 중요하다.

4. 광물자원 프로젝트 경제성 평가

사업을 시작하기 전에 가정 먼저 생각해봐야 할 것은 ‘이 사업이 돈이 되는 사업일까?’ 이다. 이는 실제 투자된 금액과, 그 금액을 통해 벌어들일 수 있는 수익이 얼마가 될 것인지 계산을 통해 알아볼 수 있다. 광물자원 프로젝트의 경제성 평가 역시 이 프로젝트의 비용을 통해 벌어들일 수 있는 수익이 얼마인지를 계산해 보는 것으로 일반적으로 현금흐름 할인법(DCF: Discounted Cash Flow)을 사용한다. 현금흐름할인법을 통해 순현재가(NPV: Net Present Value)를 구하게 되는데 순현재가는 이 사업을 시작했을 때 이익이 될 것인지, 손해가 날 것인지를 알아보는 것으로, 투자안의 현재가를 구하고 여기서 투자비용을 뺀으로서 도출할 수 있다. 즉 순현재가가 (+)가 나오면 투자를 해도 되고, (-)가 나오면 투자를 하면 안 된다는 의미가 된다(채준, 2008).

NPV를 설명하기 위해 먼저 미래가치(Future Value)와 현재가치(Present Value)에 대해 설명하겠다. 미래가치는 오늘 예금하거나 투자한 돈이 몇 년후에는 얼마나 될까에 대한 답으로 미래가치를 구하는 공식은 식 1과 같다.

$$FV = PV \times (1+r)^t \quad (1)$$

여기서 FV는 미래가치이며, PV는 현재가치, r은 기간당 이자율, t는 기간의 수이다. 현재가치는 미래가치와는 반대의 의미로, 미래에 발생하게 될 현금흐름을 현재시점의 가치로 환산한 금액이라 할 수 있으며 식(2)와 같이 표시된다.

$$PV = \frac{FV}{(1+r)^t} \quad (2)$$

여기서 이자율 r은 할인율(Discount rate)으로 불리운다.

NPV는 프로젝트 수행기간의 매년의 현금흐름(Cash Flow)을 할인율(Discount rate)을 통해 현재가치로 환산한 값은 계산식은 식(3)과 같다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

여기서 C_t 는 t 연도의 현금 흐름으로 순이익(net income)으로도 표현되며 수익에서 비용을 뺀 금액이다.

Table 6은 이해를 돕기위해 할인율을 변화시키면 NPV가 어떻게 변하는지를 보여주는 예이다. 할인율 10%까지는 NPV가 (+)여서 이 프로젝트가 투자를 해도 되지만 할인율이 15%이상에서는 NPV가 (-)가 되어 투자 부적격으로 판명된다.

Table 6. NPV calculation with various discount rates

Year	Cash Flow	NPV5%	NPV10%	NPV15%	NPV20%
2003	-200	-200	-200	-200	-200
2004	-50	-47.6	-45.5	-43.5	-41.7
2005	10	9.1	8.3	7.6	6.9
2006	100	86.4	75.1	65.8	57.9
2007	100	82.3	68.3	57.2	48.2
2008	200	156.7	124.2	99.4	80.4
Sum	160	86.8	30.4	-13.6	-48.3

Fig. 4는 Table 6을 그래프로 도시한 것으로 그림에서 보듯이 NPV가 0이 될 때의 할인율을 IRR(Internal rate of Return)이라 하며 IRR이 클수록 유리한 투자이며, IRR이 은행금리보다 높으면 경제적 타당성이 있는 것으로 추정한다.

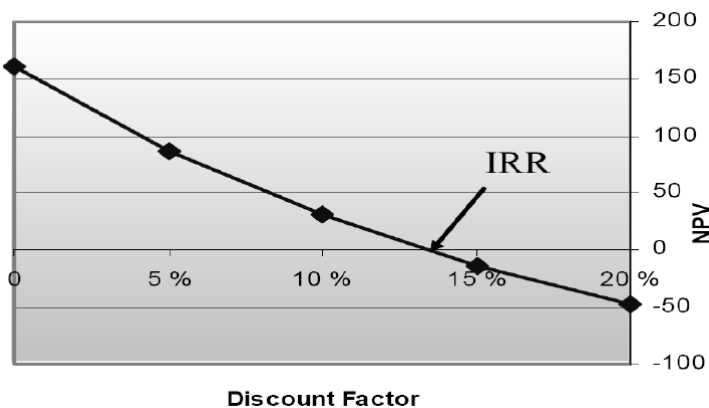


Fig. 4. Meaning of IRR

위에서 유추할 수 있듯이 경제성 평가의 핵심요소는 광물의 판매로 연계 되는 수익의 산정, 광산개발과 운영을 위한 비용의 산정, 그리고 할인율의 선택이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 보츠와나의 금광을 대상으로 현금흐름분석을 하여 프로젝트의 경제성을 평가해 보겠다.

보츠와나 금광은 지하채광으로 연간 360일간 1000tonne/day로 광석을 채광한다. 가채광량은 3,240,000 tonne 이며 평균 품위는 10 g/tonne이다. 이때 채광 Dilution은 9%이며, 선광회수율은 90%이다. Capex는 55백만달러이며, 2년간의 생산준비기간이 있다. Capex의 40%는 생산준비기간의 첫해에 사용되고, 60%는 두 번째 해에 사용된다. Opcost는 \$40/tonne이며, 운영자본(working captal)은 연간 Opcost의 25%이다. 금 판매가격은 \$300/troy oz (단위변환식 31.1g/troy oz)이고 세금은 과세수입의 35%이다. 자본충당금은 광산가행기간에 대해 정액감가상각으로 계상된다. 로얄티는 2%이며, 할인율은 8%이다.

먼저 연수익을 산정하기 위해서는 연간 금생산량을 구해야 한다. 가채광량이 3,240,000 tonne을 연 채광량 360,000 tonne으로 나누어 주면 광산가행 기간이 9년임을 알 수 있다. 한편 2년의 생산준비기간이 있으므로 사업기간은 11년이 된다. 품위가 10g/tonne이나 채광 dilution이 9% 이므로 채광품위는 9.1g/tonne이 되며, 선광회수율 90%를 곱하면 회수품위는 8.19g/tonne이 된다. 이를 채광량과 곱하면 연간 금 생산량이 계산되며 이를 금가격과 곱하면 연수익이 산정된다.

비용은 생산준비기간의 Capex와 가행기간의 opcost, 수익의 2%인 로얄티와 과세수입에 부과되는 세금과 감가상각비가 포함된다.

연차별로 계산된 현금흐름에 대해 8%의 할인율을 상정하여 NPV를 구하면 \$8,838,667이 계산되며, 이때 IRR은 12%가 된다. Fig. 5는 위의 예제에 대한 엑셀표로 사업기간 4년차까지의 현금흐름을 나타낸 것이다.

할인율의 선택에 따라 사업의 수익성이 달라지므로 할인율의 선택은 매우 중요하다. 일반적으로 동일한 현금흐름을 가진 사업이라도 리스크가 큰 사업에 대해 할인율을 높게 책정하게 된다. 광물자원 프로젝트는 자본구조는 자기자본(주식)과 타인자본(부채)로 구성되며 자기자본과 타인자본에 대한 기대 수익률이 다르기 때문에 가중평균자본비용(WACC: Weighted Average Cost of Capital)을 구해 할인율로 사용하기도 한다(식4).

year	1	2	3	4
production			360000	360000
reserve	3240000	3240000	2880000	2520000
grade			10	10
Dilution			0,09	0,09
Diluted grade			9,1	9,1
recovery(%)			90	90
recovered grade			8,19	8,19
production(gr)			2948400	2948400
production(oz)			94803,86	94803,86
gold price			300	300
revenue			28441158	28441158
cost				
capex	22000000	33000000		
op cost			14400000	14400000
royalty			568823,2	568823,2
working capital			3600000	
total cost	22000000	33000000	18568823	14968823
taxable income				
depreciation			6111111	6111111
taxable income	-22000000	-33000000	3761223	7361223
tax paid	0	0	1316428	2576428
cash flow	-22000000	-33000000	8555906	10895906
NPV	₩8,838,667			
IRR	12%			

Fig. 5. Part of Cash flow of the Botswana Gold Mine project

$$WACC = \frac{S}{S+B} \times Ke + \frac{B}{S+B} \times Kd \quad (4)$$

여기서, S는 자기자본, B는 타인자본, Ke는 자기자본비용, Kd는 타인자본비용을 나타낸다.

자기자본비용과 타인자본비용이 커지면 할인율이 커지는 것으로, 자기자본비용은 프로젝트의 리스크와 직접적인 상관관계가 있다. 프로젝트의 리스크는 ‘베타’라는

위험측정치로 ‘자본자산 가격결정 모형’(CAPM, Capital Asset Pricing Model)을 통해 추정하게 되며 ‘베타’가 커지면 리스크가 커져 기대수익률이 커지게 된다. 이 기대수익률이 자기자본비용이 된다. 타인자본비용은 ‘평균부채이자율’로 계산하게 되며 일반적으로 자기자본비용이 타인자본비용보다 크다.

한편 한국광물공사는 WACC의 추정시 베타 계산이 회사전체의 주식가격과 연동 되어 개별 프로젝트와 관련이 없어 일반적으로 사용하지 않고 CIM(Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum)의 자원프로젝트 할인율 산정방식을 이용해 다음과 같이 최저목표 수익률을 상정하여 할인율을 선택하고 있다(Table 6). 국가별 최저 목표수익률에는 무위험수익률 1.2%(미국국고채의 실질 이자율)이 포함되어 있다. 또한 사업성숙단계별로 프로젝트 위험 프리미엄을 6.0~15%까지 주었으며, 사업소재국과 국고채의 이자율의 차이를 국가리스크로 산정해 0~7.5%를 주었다.

Table 7. Kores Hurdle rate of mineral project(박길천, 2008)

구분		호주 (0.65%)	중국 (0.95%)	한국 (1.45%)	인도 (3.00%)	페루 (4.00%)	파푸아 (4.50%)	인니 (6.50%)
사전조사	15.0%	16.85	17.15	17.65	19.2	20.0	20.7	22.7
Pre-FS	10.5%	12.35	12.65	13.15	14.7	15.7	16.2	18.2
최종FS	8.8%	10.65	10.95	11.45	13.0	14.0	14.5	16.5
개발	6.5%	8.35	8.65	9.15	10.7	11.7	12.2	14.2
생산	6.0%	7.85	8.15	8.65	10.2	11.2	11.7	13.7

프로젝트의 불확실성을 평가하는 방법으로 민감도 분석과 몬테카를로법등이 있다. 민감도 분석은 광물가격, 회수율, Capex, Opcosts등 여러 가지 요소들에 대해 자기를 제외한 다른 요소들은 상수로 놓고 값을 변화 시킬 때 NPV나 IRR이 어떻게 변하는지를 측정하는 것으로 민감도가 높은 요소는 값의 변화에 따라 프로젝트의 경제성에 심각한 영향을 미치기 때문에 이에 위한 대책을 강구해야 한다.

몬테카를로법은 각 요소들의 확률 분포를 가지고 난수발생기에 의한 각 요소값을 선정한 후 NPV나 IRR값을 시뮬레이션하여 프로젝트의 리스크를 통계적으로 추정하는 것으로 프로젝트의 불확실성을 통계적으로 정량화 시켜 나타내게 되며, 이를 통해 프로젝트의 가치를 평가할 수 있다.

5. 결론

신흥개발도상국의 성장에서 비롯된 광물자원 분야의 수급부족은 공급부족이라는 구조적인 문제와 결부되어 있어, 2008년도 시작된 금융위기가 진정되면 필연적으로 가격상승으로 이어질 것이며 자원다소비형 산업구조를 가진 우리나라는 국가적인 차원에서 대비를 해야한다.

국내 자원개발기업은 현재까지 주로 지분투자형식으로 해외자원개발을 해오고 있으며, 이를 위해 가장 필수적인 기술이 사업타당성 평가기술이다. 광물자원 프로젝트의 기술성 평가의 핵심은 매장량과 품위의 평가이다. 현재는 지구통계학을 이용한 매장량 평가기술을 주로 사용하는데 이 방법도 시추공간 자료들간의 분산이 크면 정확도가 떨어지며, 베리오그램의 선정에 따라서도 매장량과 품위가 달라지는 불확실성이 존재한다. 채광법은 지질학적 상황이나 생산계획, 환경영향평가등을 고려하여 선정하여야 하며, 선광법은 광물학적인 특성과 생산계획등을 고려해 선정해야 한다. 특히 채광법과 선광법은 Capex와 opcosts의 산정에 중요하며 생산계획에 따라 Capex와 opcosts를 조절하여 최적의 비율을 구하게 된다.

광물자원 프로젝트의 경제성 평가는 프로젝트의 비용을 통해 벌어들일 수 있는 수익이 얼마인지를 계산해 보는 것으로 일반적으로 현금흐름 할인법(DCF: Discounted Cash Flow)을 사용한다. 현금흐름할인법을 통해 NPV와 IRR을 구해 프로젝트의 투자 타당성을 확인하며, 민감도 분석과 몬테카를로법등을 통해 프로젝트의 불확실성을 통계적으로 판단하게 된다.

감사의 글

이 연구는 2009년도 한국지질자원연구원의 기본사업인 ‘광상 맞춤형 자원탐사·채광 최적기술개발’의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 박길천, 2008, 광물개발사업의 경제성 평가 기법, 광물개발기술연수회 자료집
 삼성경제연구소, 2008, 자원부국과 자원기업의 부상, CEO information, 제649호
 손정수, 2008, 선광처리/제련공정, 2008 해외자원개발 단기기술포럼 자료집

- 윤운상, 2008, F/S software를 이용한 광산평가 및 설계, 2008 해외자원개발 단기기술타점 자료집
- 채준, 2008, 세상에서 가장 쉬운 재무관리 이야기, 트라이러엔 컴퍼니
- 최선규, 조호영, 김창성, 고은미, 박상준, 조환주, 김동기, 안용환, 서지은, 2008, 전력산업과 자원개발의 해외동반진출 전략 연구, 고려대학교 산학협력단, 지식경제부 보고서
- 최종근, 2007, 지구통계학, 시그마프레스
- Hartman, H. L. and Mutmanský J. M., 2002, Introductory mining engineering, John wiley & Sons, Inc