

심해저 망간단괴 사업의 경제성 평가

황석원* · 황정태
과학기술정책연구원

Economic Assessment of Manganese Nodules Mining

SEOG WON HWANG* AND JUNG-TAE HWANG

Science and Technology Policy Institute, STEPI, 26th Fl., Specialty Construction Center, Shindaebang-dong,
395-70, Dongjak-gu, Seoul 156-714, Korea

본 연구는 최근의 금속가격변화를 고려한 36개의 시나리오를 작성하고 이에 대하여 망간단괴 채광, 제련의 경제성 평가를 수행하였다. 각 시나리오는 낙관/중립/비관의 채광 및 제련 비용전망과 2가지 생산규모, 그리고 6가지 금속가격 전망을 조합하여 작성되었다. 낙관/중립 비용전망에 따른 대부분의 시나리오에서 긍정적인 경제성 평가 결과가 도출되었다. 예로 300만 건톤의 망간단괴 채광의 경우, 중립적인 비용전망을 취하고 2007년 전반기의 금속가격을 가정하면 37.1%의 내부수익률을 얻는 것으로 나타났다.

The economics of manganese nodules mining was assessed based on 36 scenarios which reflect recent changes of the metal market. Those scenarios included optimistic/neutral/pessimistic prospect for the cost, 2 production scales (1.5 MT and 3 MT) and 6 assumptional paths of future metal prices. A large part of scenarios, in which optimistic or neutral prospect for the cost and metal prices were assumed, showed good economic feasibility of the project. For example, 37.12% of Internal Rate of Return (IRR) was obtained in the scenario of 3 MT production, neutral cost prospect and present metal price maintained in the future.

Keywords: Manganese Nodules, Economic Assessment, Deep Sea Mining, Seabed Mineral Resources, Internal Rate of Return (IRR)

서 론

망간단괴는 심해저 광물 가운데 가장 먼저 주목을 받았다. 수심 4000~5500 m에 존재하는 3~15 cm의 구상 광물로서 채광기술 등 관련 연구가 가장 많이 진행된 광물자원이다. 주요 대상이 되는 포함 광물은 망간, 니켈, 구리, 코발트 등이 있다. 한국은 1994년 유엔으로부터 공해에서의 심해저자원개발에 관한 선행투자자 자격을 인준 받았으며, 배타적 탐사권을 행사할 수 있는 할당광구 150,000 km²를 태평양 클라리온-클리퍼톤(Clarion-Clipperton) 해역에 등록하였다. 유엔해양법 협약 규정에 따라 등록한 할당광구의 50%를 8년 이내에 포기해야 하는 의무를 부여받고, 1997년 1차 광구포기(20%), 1999년 2차 광구포기(10%), 2002년 3차 광구포기(20%)를 단행하였다. 최종 확정광구는 74,984.34 km²로 개발 가치가 높은 니켈과 동을 대상으로 각 단위 광구별 금속함유분포도를 작성하여 광구개발의 효율성과 경제성이 높은 지역을 대상으로 선정하였다(남 등, 2004).

한국은 1991년부터 광구탐사를 시작하였고, 1994년부터는 채광, 제련 시스템의 연구개발에 착수하였다. 현재까지 연구개발이 계속되고 있으나 아직 상업 채광에 필요충분한 기술 개발이 완료되지는 않았다. 미국, 독일, 프랑스, 일본과 같은 경우에는 개발 기술

을 80년 이전에 확보하였고 개발 가능한 지역의 탐사 또한 완료한 상태이다. 이렇게 기술 개발의 역사가 오래된 선진국들도 경제성에 대한 확신 부족으로 아직 상업적 생산단계에는 미치지 못하고 있다. 인도와 중국은 후발 참여자로서 심해저 광물 개발에 큰 관심을 가지고 연구개발에 박차를 가하고 있다.

망간단괴 사업의 경제성 평가는 1980년대부터 시작되었다.

홍 등(1984)은 미국 텍사스 A&M 대학(TAMU)의 경제성분석 모형을 이용하여 심해저광업의 내부수익률을 예측할 수 있는 시물레이션 모형을 개발하였다. 분석 결과 망간단괴 내의 희소 금속의 시장 수급은 매우 불안정하고 시장 가격은 심해저 개발의 경제성을 뒷받침하기에는 낮은 수준으로서 그 당시를 기준으로 15~20년 후에야 경제성이 확보되는 것으로 나타났다.

홍(1988)은 내부수익률, 순현재가치, 위험 프리미엄 등 다각도로 망간단괴 개발의 경제성 분석을 본격적으로 수행하였다. 연구 결과에 따르면 내부수익률은 20.7%로 나타났고, 할인율을 8%로 할 경우에 순현재가치는 18.8억 달러 달러, 순익분기점은 10년인 것으로 나타났다.

한국해양연구소는 1992년에 TAMU 모형을 바탕으로 국내 회계법과 당시의 국제 금속가격을 적용하여 경제성을 분석한 결과 16.3%의 내부수익률을 얻은 바 있다(황, 1995). 이 분석은 4개 금속 생산을 전제로 한 것이었다.

*Corresponding author: hsw100@stepi.re.kr

황(1995)은 각 금속의 장기균형가격을 바탕으로 망간단괴 개발의 수입대체 효과가 2010년 기준 연간 635백만 달러에 이를 것으로 추정하였다. 이러한 수입대체 효과는 수입프리미엄의 하락으로 이어지는데, 수입 프리미엄이 3% 수준이라면 망간단괴 개발에 따른 수입프리미엄 감소는 연간 19백만 달러에 달할 것으로 추정하였다.

남 등(2004)은 150만톤 채광과 300만톤 채광으로 나누어 경제성 평가를 수행하였다. 300만 톤톤 채광시에는 자본회수 기간이 9.2년이며 내부수익률은 12.8%로 경제적 타당성이 있는 것으로 분석되었으며, 150만톤 채광시에는 내부수익률이 4.0%로 경제적 타당성이 다소 미흡한 것으로 나타났다. 그러나 최근의 금속가격의 긍정적 변화와 함께 한국의 심해저 채광에 있어 기술적인 대안들이 뚜렷해졌으므로 이러한 변화를 반영한 경제성평가는 보다 높은 수익률을 기대할 수 있다.

본 연구에서는 최근의 금속 시장 여건 변화를 새롭게 반영하고, 선행 연구들이 단일한 시나리오를 전제로 분석한 것과는 달리 비용 및 편익 관점의 다양한 시나리오를 고려하여 경제성 평가를 수행하였다.

금속 가격 변동과 심해저 광물자원 개발의 필요성

각국의 경제 성장 및 산업 발달과 함께 그에 따른 자원의 수요가 크게 늘고 세계의 정치경제 여건변화에 따라 육상 광물자원의 공급 불균형 및 고갈문제가 대두되었다.

세계 경제성장은 중국을 선두로 한 아시아와 러시아를 선두로 하는 동유럽의 성장세가 가장 두드러졌다. 2004년 각국의 경제성장률은 Table 1과 같다. 중국은 9.8%의 고성장을 하였다. 미국이나 일본과 같은 선진국 경제성장률의 2배나 되는 고성장으로 이러한 경제성장은 경제성장의 기반이 되는 기초금속(base metal)의 수요를 폭발적으로 증가시키게 되고, 자원수요의 과잉을 조절할 수 있는 능력이 부족한 상황에서 이러한 세계경제의 고성장은 광

물자원의 가격을 빠른 속도로 증가시키고 있다(Browne, 2004).

중국과 같은 경우에는 전세계 금속자원 수출입에서 큰 비중을 차지하고 있는데 자국 내에서의 수요가 증가함에 따라 수출입의 변화를 가져오게 되고 이것은 광물자원의 수급에 큰 영향을 미치고 있다. 중국 정부에서는 빠른 경제성장에 의한 인플레이션을 감안하여 저성장 정책을 추진하고 있으나 그럼에도 불구하고 중국 경제성장은 고도로 발전하고 있어 이러한 경제발전이 근간이 되는 광물자원의 수요 증가는 당분간 계속 될 것으로 보이며(Mineral commodity summaries(USGS), 2005), 이러한 수요에 대한 생산량 확보는 중국 경제뿐만 아니라 세계 경제의 지속적인 발전을 위해서도 필수적이라 할 수 있다. 2006년 비철 금속 가격의 사상 최고치를 이끈 동력 중의 하나인 중국은 이후에도 전세계 소비를 끌어올리는 중추로 작용할 전망이다. 중국은 우리나라의 자급율보다 높음에도 불구하고 자국내 광물자원 수요에 대한 공급량 및 미래 자원 확보 관점에서 심해저 자원개발을 국가주요추진전략으로 선정하여 진행 중이다.

2004~2006년 구리, 니켈, 망간, 코발트 금속가격 추이를 보면, 대부분의 금속이 2004년부터 서서히 증가하다가 2006년 4월부터는 코발트와 니켈을 중심으로 가격 이 급격히 증가하고 있음을 알 수 있다. 특히 코발트와 니켈의 가격변동이 심하게 나타나고 있는데 이것은 수요의 변동에 대한 탄력성이 작다는 의미이고 이러한 금속에 대한 공급의 확보는 지속적인 경제발전을 위하여 중요하다. 구리와 같은 경우에는 2년 동안 68%가 넘는 가격상승을 보였다. 구리는 사용분야가 광범위하고 구리의 특성으로 인해 대체금속을 찾기가 어렵기 때문에 공급량의 확보가 중요하다. 기존의 기술개발과 탐광 활동에 의해 이러한 문제를 해결하기 위한 노력은 현재도 계속되고 있으나 수요의 폭발적 증가와 육상광물 부존량 한계로 인하여 심해저 광물자원 개발에 관심이 급격히 증가하고 있다.

심해저 자원개발 비용 추정

전체 심해저 자원개발 시스템은 물리적 요소인 채광, 제련 등 세부 시스템으로 나누어지며 이를 비용목록 분류기준으로 삼아 비용을 산출한다. 다른 한편으로 경제성 분석에서 중요시 되는 시간별 발생비용을 생각할 수 있다. 이 경우는 자본비용인 고정비용과 운영 시 생산량과 연계되어 발생하는 운영(가변)비용으로 나누어 생각해 볼 수 있다.

Table 1. 각국의 경제 성장률(2004)

국가	성장률	국가	성장률
중국	9.8%	태국	6.5%
말레이시아	7.6%	일본	5.6%
러시아	7.4%	한국	5.3%
폴란드	6.9%	미국	5%

※ 통계청, <http://www.nso.go.kr>

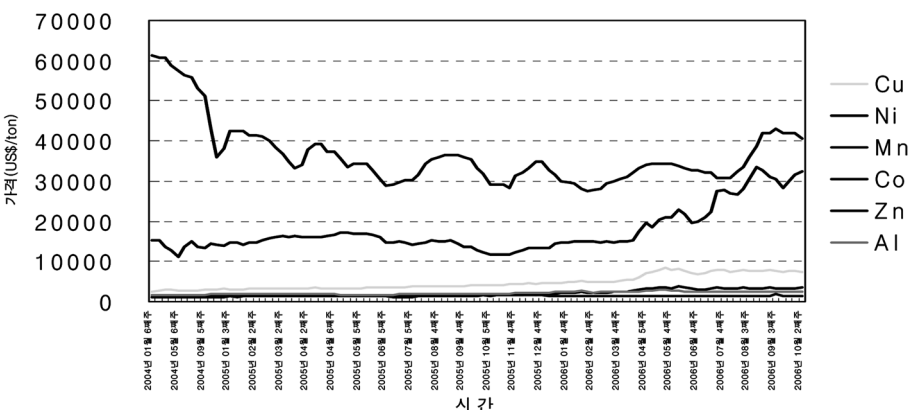


Fig. 1. 04-06 금속가격추의 현황(한국자원정보센터, <http://www.kores.net>).

심해저 광물자원개발 시스템의 개요

심해저 광물자원개발 시스템은 탐사 및 연구개발 시스템, 집광 시스템, 양광시스템, 채광선, 운송시스템, 체련시스템, 환경비용 등 총 7개 분야로 시스템의 개요는 다음과 같다. 이와같은 분류는 TAMU의 경제성분석모형 이후로 매우 보편적으로 쓰이고 있는 비용요소별 계산 방법이다.

- 탐사 및 연구개발 시스템: 심해저의 지형을 탐사하여 해저 지형 및 자원 지도를 그리는 작업, 기타 채광 및 체련시스템을 연구하는 사업을 포함한다. 심해저 지형탐사는 채광이 시작된 이후에도 계속 필요한 작업이다.
- 집광시스템: 채광시스템의 가장 선단인 심해저면에서 작동하는 기기로 심해저에서 망간단괴를 채집하여 유연관 및 양광관으로 보내는 역할을 수행한다.
- 양광시스템: 망간단괴를 집광기에서 채광선까지 끌어올리는 시스템이다. 주로 펌프와 관을 사용한다.
- 채광선: 채광시스템의 동력원이 탑재된 수상기지라고 볼 수 있는 선박이다. 망간단괴를 말리는 건조시설과 저장고, 이송용 크레인을 갖춘 종합선박을 의미한다. 집광기의 이동에 따라 채광선도 연동하여 움직일 수 있는 동적위치조절이 가능한 추진장치를 갖추고 있다.
- 운송시스템: 채광선에서 체련소까지 수송을 담당하는 시스템. 수송선단과 항구에서의 하역시설, 육상운송시설이 주요 요소를 이룬다.
- 체련시스템: 금속처리 시스템으로 망간단괴에서 금속을 추출하는 기능을 하며 가장 많은 비용이 소모된다. 특히 운영에서도 가장 많은 에너지를 소모하는 시스템이다.
- 환경비용: 채광으로 교란되는 해저 환경비용을 뜻한다. 향후 환경관련 규제에 따라 소요비용이 변화할 가능성이 있다.

비용의 구분

심해저 광물자원 개발을 위한 비용은 연구 및 기타 매물비용, 자본비용, 운영비용 등이 있으며 비용의 개요는 다음과 같다.

- 연구 및 기타 매물비용: 자본설비 외의 연구 및 상업화 이전 투자비용을 고려하여 표시한다.
- 자본비용: 자본시설의 수명을 20년으로 가정하여 제작비 및 제작기간 동안의 금융비용을 포함하여 계산한다. 일반선박의 경우 수명을 25~30년까지 볼 수 있으나 보수적으로 수명을 잡고 분석을 실시하였다. 10년 수명인 체련소의 재건축비용은 예비비로 취급하여 운용비용에 포함시켜 처리한다.
- 운영비용: 상업적인 생산을 하는 경우 발생하는 비용으로 매년 소요되는 인건비 및 에너지비용, 수리 유지비용 등 경상비용을 의미한다.

전제 조건

비용계산을 위한 전제조건은 다음과 같다.

- 비용계산을 위한 채광량은 300만 톤을 기준으로 작성한다. 금속비용의 교란과 양광시스템의 한계를 고려하면 150만 톤이 적정수준이기 때문에 추가로 150만 톤 기준의 비용을 병행하여 조사하고 작성한다.
- 1년 300일을 해상 조업일수로 가정하며 조업 중 집광기는 24

시간 가동하는 것으로 가정한다.

- 기술방식은 기술대안 비교 이후 현재 선택된 안을 기준으로 삼는다.
- 실험 및 파일럿 연구 값을 기준으로 하되 자료가 없거나 입수 불가능한 경우는 문헌 값 또는 전문가 추정치로 대체한다.
- 자본비용의 구입 부품 등을 시중 견적을 우선으로 산정한다. 일반 구입이 어려운 직접 제작품의 경우는 인건비와 제작재료 비로 자본비용을 도출한다.

시스템별 기술대안

각 시스템별 기술 대안은 다음과 같다.

- 집광시스템: 자항식이며 모듈식으로 구성된 단괴채집기를 앞쪽에 갖추고 있다. 자체 컴퓨터의 전자제어에 의하여 움직이나 수동식으로 전환 가능하다. 수리를 위해 발라스터를 이용, 수상으로 상승이 가능하며 약간의 추진력도 갖추고 있다.
- 한국해양연구원이 여러 가지 옵션을 검토하고 선택한 방식이며 현 1/10 규모 모델과 박(2004)의 박사논문을 기준으로 규모를 산출하였음: 폭 18 m이며 0.5 m/s의 운항속도로 70%의 수거효율을 가지고 채집한다고 가정함
- 양광시스템: 수력펌핑시스템으로 다단계 펌프에 의해 망간단괴의 파쇄된 조각을 물과 함께 슬러리 형태로 끌어올린다. 펌프는 3기를 운영하여 5,000미터 심해의 혼합슬러리를 끌어올리며 집광기와 양광파이프 사이는 유연관 및 버퍼시스템이 존재한다.
- 양광시스템의 경우 한국지질자원연구원과 계약한 펌프제조회사의 견적을 기본자료로 삼고 박세현(2004)의 박사논문에 제시된 산정방식을 적용하여 산출하였다. 양광용량은 385톤/h, 도출체적농도 8%, 관내 슬러리 속도 4 m/s, 슬러리용량 441 m³/h, 12단 펌프이다.
- 채광선: 2척의 16만 중량톤 급 채광선을 건조하여 활용하는 것이 가장 선호되고 있는 방법이다. 300만 건톤 채광의 경우 150만 건톤 채광 규모의 16만 톤 급 2척을 건조하는 것보다 1척을 건조하는 비용이 저렴하므로 이 경우를 가정한 중공업사의 견적을 낙관 비용으로 삼는다. 이 경우 양광관 2기가 하나의 채광선에 존재하는 것으로 가정한다. 위험분산 차원에서 2척을 건조하는 것이 선호되므로 2가지 경우 모두 비용을 추정할 필요가 있다.
- 3대 중공업사로부터 간략 견적을 제출받아 비용을 산출하였다. 정유설비 FPSO의 60% 정도의 비용을 추정하여 산출한 낙관적인 견적과 채광선 건조비를 보수적으로 산출한 비판 시나리오 견적을 모두 사용한다. 150만 건톤용 채광선의 경우 30-50MW의 발전기가 필요하며 다이내믹포지셔닝 기능이 갖추어 있다. 인터뷰에 의하면 300만 톤의 경우 복수의 양광관을 가진 채광선을 건조하는 것은 위험분산의 차원에서 바람직하지 않으나 기술적으로 불가능한 것은 아니므로 채광선 건조비용을 감소효과를 고려하여 낙관 시나리오에 채택하였다.
- 운송시스템: 선박 6만5천-8만2천 톤급 선박을 운용하는 것으로 하며 체련소는 한국에 위치하는 것과 호주의 위치에 따라 달라질 수 있다.
- 해운사의 견적을 원용하여 운영비용을 산출하였다. 참고로 해

운사는 인플레이션으로 인한 비용증가를 3%로 가정하고 건적을 산출하였다.

- 호주와 한국의 경우는 용량과 거리, 하역작업 및 쉬는시간, 운항속도를 종합적으로 고려하고 이를 기존문헌에 나타난 공식에 대입하여 소요 척수를 계산하였다. 그 결과 150만 건통과 300만 건통 모두 8만2천 톤급 선박을 활용하며 150만 건통은 3척, 300만 건통은 한국 6척 호주 5척으로 나타났다.
- 제련시스템: 용융화확산침출법을 사용한다. 3금속을 추출하며 페로망간은 판매할 수 있다. 단 그 값은 슬러그 처리비용과 상쇄시킨다.

시나리오의 구성

시나리오의 구성요소로는 채광량, 에너지 비용, 집광시스템, 양광시스템, 채광선, 운송 및 제련시스템을 고려하였고 각 구성요소에 대한 내용은 다음과 같다.

- 채광량: 건조한 상태의 망간단괴 150만 톤과 300만 톤을 매년 채광하는 경우를 비교한다. 300만 톤의 망간단괴를 채광하는 경우 제련효율 93%를 가정하면 최종적으로 33,000 톤 정도의 니켈 생산이 가능하며 금속으로 가정하여 세계 생산량이 1.315 M 톤(2003) 이므로 해저채광으로 인한 생산량은 전체의 3% 이내가 된다. 이에 따라 가격을 교환할 염려가 없다. 150만 톤 규모가 양광관 파이프 1기가 이송시키는 물리적인 한계로 생각할 수 있다. 채광시스템의 단위는 150만 톤 또는 이의 2배수인 300만 톤이 적절하다고 고려된다.
- 에너지 비용: 현재의 두바이유 기준 배럴당 \$55 와 \$80의 두 가지 경우를 가정하여 비교한다. 이는 루이스 아마다라는 애널리스트가 주장하는 유가 단계 상승론에 따른 분석이다¹⁾(매일경제 2005. 8. 23참조).
- 집광시스템: 국내 기술대안 방식의 2중 건적이 불가능하므로 해양연구원 전문가의 자문결과를 원용한다. 단 집광기의 심해 조건에 따른 연근해 실험가격 대비 상승률(factor)을 다르게 바라보고 있는 점을 감안하여 전문가가 제시한 factor 값에 따라 집광시스템 낙관/비관시나리오를 작성하였다.
- 양광시스템: 일본의 육상실험에 의한 비용추정과 한국의 설계비용건적을 활용하여 두 가지로 비용을 산출한다. 일본의 경우 펌프 2기를 사용하는 조건으로 한 비용추정치이며 한국은 펌프 3기를 사용하는 경우이다. 일본모델을 기준으로 한 비용산출은 비관시나리오에 한국모델은 낙관 시나리오에 사용되었다.
- 채광선: 망간단괴 150만 건통 생산 규모 채광선을 제조하는 경우로 A회사와 B회사의 건적 값을 참조하였다. B회사의 경우 300만 건통 채광선의 건적을 바탕으로 150만 건통 제작비의 건적을 산출하였다. 가장 낙관적인 경우와 비관적인 경우의 가격건적을 비교하였다. 비관적인 시나리오는 비싼 150만 톤 생산규모 채광선 2척을 병렬로 사용하는 경우이다.
- 운송 및 제련시스템: 호주와 한국의 경우를 비교하여 분석한다. 한국과 호주의 공단부지, 인건비와 에너지비용 등에서 약

간의 차이가 있으며 이를 이용하여 산정한다.

이상의 시나리오에서 비관적인 조합과 낙관적인 조합을 150만 톤과 300만 톤에 대하여 작성하는 것으로 결정한다. 별도로 제련시스템의 경우 비용비중이 크기 때문에 중립적인 경우도 분석을 실시한다. 다시 말하자면, 채광선 건적이 비싼 경우와 제련비용(연료비)가 비싼 경우를 조합하여 비관적인 시나리오로 정하고, 둘 다 저렴한 비용만을 조합하여 낙관적인 시나리오로 취하였다. 중립적인 시나리오의 경우는 제련비용의 중간값을 추가로 만들어서 결정한 것이다(제련시스템과 탐사비용 외에는 비관적인 비용값을 취하였음). 제련비용의 경우는 한국지질자원연구원 및 기업체들의 추정 값이 대체로 기존문헌의 추정비용보다 더 높게 나타나 이들 인터뷰 값 중 제일 높은 값을 비관시나리오로 채택하였다. 이 경우 문헌기준 추정 값을 낙관 시나리오 값으로 취하였다. 150만 건통의 중립 시나리오는 인터뷰를 통한 추정 값에서 제로 인플레이션(기술혁신으로 거의 인플레이션이 없는 경우)을 가정하여 작성하였다. 그러나 이렇게 만든 중립 제련비용이 기존문헌의 제련비용보다도 낮아진 300만 건통의 경우에는 문헌 값이 중립 시나리오에 사용되고 인플레이션 적용하지 않은 인터뷰 추정값이 낙관 시나리오 값으로 사용되었다²⁾.

종합 비용 추정액

종합비용은 상용화 이전 비용, 건설기간 자본비용, 건설기간 중 파일럿 운영비용, 그리고 상용화 이후 정상 가동비용으로 시기별로 나누어서 생각할 수 있다.

5년 분포 건설비용과 파일럿 운영시 비율은 황과 조(1997)의 6년 분포 값을 해양연구원 관련 전문가 의견을 통해 5년으로 조정된 것이다. 남 등(2004)에서는 파일럿 제련 운영이 2년차 및 3년차 등 건설 중에도 이루어지는 것으로 보였다. 물론 약간의 시험테스트는 있겠으나 파일럿 운영은 5년차부터 실시되는 것이 타당하다고 본다. 채광의 경우도 채광선이 기본적으로 완성되는 4년차 말에 약간의 테스트 운영이 있고 5년차에는 양광 및 집광시스템의 정밀한 설치마무리가 실패역에서 있을 것이라는 가정을 하였다.

파일럿 운영에서 채광선이 80% 가동하는 경우 하역도 80% 가동하는 것이 원칙이지만 해상은 생산이 50%라고 할지라도 다른 소요비용이 많이 들어가기 때문에 높게 산정한 것이고 하역의 경우는 육상교통으로 이송시키는 비용이 없이 부두에 단순히 쌓아 놓거나 다른 나라로 수출하는 경우까지 고려할 수 있으므로 15%로 설정하였다. 문헌에 의존하여 부여한 수치이나 향후 전문가의 의견을 확대 경청하여 파일럿운영의 정상비용 대비 %는 수정하는 것이 더 바람직하다. 전반적으로 5년차에 생산되는 망간단괴는 약 50% 수준의 물량이며 제련으로 완전히 처리되는 것이 아니라 저장소에 쌓여있는 형식으로 볼 수 있다.

300만 톤 한국에서 제련하는 비관 시나리오 경우

제련시설의 경우 대규모 건설 비용이므로 0.6승수를 주었다. 또한 150%정도 인플레이션 및 병렬처리 자본재에 대한 보정값을 주

¹⁾2008년 유가가 \$150를 육박하므로 이에 대하여 참고로 운영비용의 상승을 언급한다. 채광선에서 연료비용은 총 운영비용의 약 33%를 차지하며 제련시스템에서(전력비용을 제외한)중유 비용은 운영비용의 15.4%를 차지한다. 제련시 망간철 및 슬러그 처리분제로 한국운송이 선호되어 호주운송 경우는 참고자료로 작성되었다.

²⁾제련비용은 다음과 같이 나타났다.
 높은 인터뷰 추정값 > 문헌값 > 인플레이션 미적용 낮은 인터뷰 추정값 (300만 건통)
 높은 인터뷰 추정값 > 인플레이션 미적용 낮은 인터뷰 추정값 > 문헌값 (150만 건통)

Table 2. 건설기간 동안 건설비용의 자본비용대비 %와 파일럿운영의 정상운영 대비 %

시스템	비용항목	1년	2년	3년	4년	5년	6년 이후 정상가동
탐사	건설비용			20	50	30	
	파일럿운영					100	
채광	건설비용	5	15	20	35	25	
	파일럿운영				30	70	
수송	건설비용	하역	20	25	30	25	
		해상			20	50	30
		육상	10	15	30	25	20
	파일럿운영	하역				5	15
		해상				10	80
		육상	5	10	10	20	40
제련	건설비용	10	25	30	25	10	
	파일럿운영					10	
환경	건설비용					-	
	파일럿운영					100	
총계							

Table 3. 자본 및 운영비용을 포함한 300만 톤 비관 시나리오 종합 Timeline 비용

	매년 매몰비용		1년	2년	3년	4년	5년	정상 가동
	'08~'09	상용화 이전						
탐사	3	4	4	4	4	4	7	7
채광	2.5	5	45.8	137.3	183.1	376.9	340.9	169
수송			12.7	16.8	88.9	190.0	154.3	58
제련	1.5	N.A.	230	575	690	575	299	698
환경	4	10					1.4	2
총계	19	19	293.5	735.1	969	1,149.9	807.6	934

주) 1.5 이외에 일시적으로 파일럿 33백만달러 소요

고 추정한 것이다. 한편 탐사비용은 잠수함 1대 운영을 포함시켰으며 집광기의 경우도 심해저 기기는 factor 7을 곱하여 비용을 추정한 것이다(Table 3).

300만톤 한국에서 제련하는 중립 시나리오 경우

제련의 경우 기업에서 제련은 중립으로 기업체의 의견과 문헌 값을 가지고 제련 자본비용을 산출한 것이다. 기타의 경우 비관시나리오를 취하였다(Table 4).

Table 4. 자본 및 운영비용을 포함한 300만 톤 중립 시나리오 종합 시간라인 비용

	매년 매몰비용		1년	2년	3년	4년	5년	정상 가동
	'08~'09	상용화 이전						
탐사	3	3	3	3	7	13	12	6
채광	2.5	5	45.8	137.3	183.1	376.9	340.9	169
수송			12.7	16.8	88.9	190.0	154.3	58
제련	1.5	N.A.	165.4	413.5	496.2	413.5	217.4	516
환경	4	10					1.4	2
총계	19	18	227.9	572.6	778.2	997.4	731	751

Table 5. 자본 및 운영비용을 포함한 300만 톤 낙관 시나리오 종합 Timeline 비용

	매년 매몰비용		1년	2년	3년	4년	5년	정상 가동
	'08~'09	상용화 이전						
탐사	3	3	3	3	7	13	12	6
채광	2.5	5	22.5	67.4	89.8	180.4	166.4	77.2
수송			12.6	16.6	70.3	142.6	117.5	45
제련	1.5	N.A.	153	383	460	383	257	579
환경	4	10					1.4	2
총계	19	18	192.1	472	630.1	723	559.3	709.2

주) 1.5 이외에 일시적으로 파일럿 33백만달러 소요

300만 톤 한국에서 제련하는 낙관 시나리오 경우

300만 톤 낙관적인 시나리오의 제련비용은 기존 20만 톤 값의 규모보정 승수 0.6을 이용하여 산출한 값이다. ROV 탐사 잠수정 제외하였다. 또한, 한국의 엔지니어링을 고려한 비용감소가 99년 일본 값에서 인플레이션을 상쇄한다는 가정을 취하였다. 이러한 제련의 총 건설비용은 15억 7,800만 달러이다(Table 5).

150만 톤 한국에서 제련하는 비관 시나리오 경우

제련시설의 경우 기업체 자문받은 값을 기반으로 작성한 비용의 값을 사용하였다. 집광기, 양광시스템, 채광선 등 채광시스템의 경우도 높은 견적을 사용하였다(Table 6).

150만 톤 한국에서 제련하는 중립시나리오 경우

제련의 경우만 비관비용에서 적용한 150% 인플레이션 감안 추산을 실시하지 않고 0.6승수로 정한 추정값을 바로 사용하였다(Table 7). (150% 인플레이션과 일본대비 한국의 저렴한 엔지니어링 비용이 서로 상쇄되는 부분, 분급 선별 공정으로 비용절감 등 고려함)

Table 6. 자본 및 운영비용을 포함한 150만 톤 비관 시나리오 종합 Timeline 비용

	매년 매몰비용		1년	2년	3년	4년	5년	정상 가동
	'08~'09	상용화 이전						
탐사	3	4	4	4	6	9	8	4
채광	2.5	5	26.2	78.6	104.8	208.9	190.5	85.0
수송			7.5	9.9	48.4	100.9	76.0	30.9
제련	1.5	N.A.	138	344	413	344	179	409
환경	4	10					1.4	2
총계	19	19	176.7	438.5	575.2	666.8	459.9	530.9

Table 7. 자본 및 운영비용을 포함한 150만 톤 중립 시나리오 종합 Timeline 비용

	매년 매몰비용		1년	2년	3년	4년	5년	정상 가동
	'08~'09	상용화 이전						
탐사	3	3	3	3	5	8	7	3
채광	2.5	5	26.2	78.6	104.8	208.9	190.5	85
수송			7.5	9.9	48.4	100.9	76.0	30.9
제련	1.5	N.A.	91.9	229.9	275.9	229.9	153.5	339
환경	4	10					1.4	2
총계	19	18	129.6	323.4	437.1	551.7	433.4	459.9

Table 8. 자본 및 운영비용을 포함한 150만 톤 낙관 시나리오 종합 Timeline 비용

	매년 매물비용		1년	2년	3년	4년	5년	정상 가동
	'08~'09	상용화 이전						
탐사	3	3	3	5	5	8	7	3
채광	2.5	5	13.3	39.8	53	105.0	94.8	40.9
수송			7.5	9.9	41.4	83.1	65.3	30.9
제련	1.5	N.A.	85.6	214.1	256.8	214.1	139.3	280.7
환경	4	10					1.4	2
총계	19	18	110.4	270.8	359.2	414.2	312.8	357.5

150만 톤 한국에서 제련하는 낙관 시나리오 경우

문헌자료(황과 조, 1997)의 값들을 원용한 낙관적인 비용예측이다(Table 8).

경제성 평가의 가정 및 분석 시나리오

기본가정

사회적 할인율은 7.5%를 사용하였다. KDI는 2005년 이전까지는 7.5%의 사회적 할인율은 정부 추진 사업의 타당성 평가에 사용해왔다(KDI, 2003). 그러다가 지난 몇 년간의 저금리 기조를 반영하여 2005년부터는 6.5%로 하향된 할인율을 채택하였다(KDI, 2004; KDI, 2005; 김, 2006). 본 연구에서는 KDI에서 제시한 사회적 할인율을 사용하되, 최근 시중 금리를 중심으로 금리가 점차 상승되고 있는 추세를 반영하여 KDI가 2005년 이전에 사용하였던 7.5%를 사회적 할인율로 사용하였다. 한편, 사회적 할인율에 대한 논란이 필요없는 IRR 분석을 동시에 진행하여 양자의 결과를 비교할 수 있도록 하였다. 사회적 할인율을 7.5%로 하느냐 6.5%로 하느냐는 분석 결과의 대세에 결정적인 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

상업생산 시작 시기는 2020년으로 가정하였다. 본 연구에서 수행한 전문가 대상 설문조사에 의하면 망간단괴 사업과 관련해 필요한 기술개발을 완료하는데 소요되는 총 기간은 6~10년 32.24%, 11~15년 30.60%로 향후 5~15년 사이에 완료될 것이라는 예상이 62.84%였다. 한편, 한국이 망간단괴를 개발하여 시장진입을 해야 할 시점 조사에서는 2011~2015년 32.24%, 2016~2020년 29.51%로 향후 5~13년을 전후로 시장진입을 해야 한다고 응답하였다. 이러한 두 가지 조사 결과를 고려할 때 2020년 상업 생산 시작을 목표로 설정하고 연구개발을 수행하는 것이 적절하며, 본 연구에서도 2020년 상업생산이 시작되는 것을 가정하였다.

상업생산 기간은 30년을 가정하였다(2020~2049년). KDI에서 수행하는 정부 추진 사업의 타당성 평가에서도 대부분 30년을 분석 기간으로 채택하고 있다(KDI, 2004). 결국 부품의 교환만으로 설비를 유지할 수 있는 기간을 30년으로 간주한 것인데, 상업 생산 시작 이후 30년이 지나면 전반적인 설비 재투자를 고려해야 할 것이다. 30년 이후 잔존 망간단괴의 품위에 대한 정보가 현재로서 없기 때문에, 설비 재투자 비용이 더 클지, 아니면 남아있는 망간단괴의 개발 가치가 더 클지에 대해서는 현재로서는 판단하기 어렵다. 이는 향후의 주요 연구 과제중 하나이다. 일단 30년 동안 생

산하고 남은 망간 단괴의 잔존 가치는 설비 재투자 비용을 넘어 설만큼의 경제적 가치를 갖고 있지 않다고 가정한다. 따라서 그 잔존가치를 별도로 고려하지 않는다.

제련은 망간은 별도로 추출하지 않고 니켈, 코발트, 구리만을 추출하는 3-metal 공정을 가정하였다. 제련 과정에서 나오는 망간이 포함된 슬래그는 국내 제철소 등에 제공하여 그 가치와 처리 비용을 상계할 수 있다고 가정하였다. 다시 말해, 무료로 망간 슬래그를 제공하되, 관련된 환경 처리 비용은 망간 슬래그를 제공받는 측에서 부담하는 것으로 간주하였다. 망간을 추출하기 위해 추가로 요구되는 비용과, 망간까지 추출한 이후의 잔사 처리 비용을 고려할 때, 추출된 망간으로부터 기대할 수 있는 편익이 관련 비용을 유의미하게 초과하기 어렵다고 간주한 것이다.

최근 망간 가격이 급등하기 이전에는 위와 같은 시각이 일반적인 것이었기 때문에 본 연구에서도 그러한 시각을 따른 것이다. 다만, 최근 급등하고 있는 망간 가격을 고려할 때, 향후에는 망간까지 추출하는 방안도 고려할 필요가 있다. 이를 위해서는 제련 설비에 망간까지 추출할 수 있는 공정을 일종의 옵션으로서 필요 시 언제든지 추가할 수 있도록 할 필요가 있다. 향후 망간 가격 급등 추세가 계속될 경우에는, 본 연구에서 채택한 보수적 관점에서 벗어나 보다 낙관적인 관점에서 경제성 평가를 다시 수행하는 것이 바람직하다. 그 경우에는 망간까지 추출하여 편익에 포함시킬 수 있으므로 망간 단괴 개발의 경제성은 본 연구보다 더 긍정적으로 나올 것으로 전망된다.

생산량은 적절한 가격으로 전부 판매 가능하다고 간주하였다. 다시 말해, 니켈, 동, 코발트 금속 제품의 시장 점유율에 대해서는 별도의 고려를 하지 않았다. 우선 150만톤 설비를 고려할 경우, 여기서 나오는 금속 제품 양은 국내 시장에서 충분히 소화할 수 있고 세계 시장 관점에서는 극히 미미한 시장 점유율만 확보해도 충분히 처리할 수 있다. 따라서 150만톤 설비의 경우에는 시장 점유율에 대해 별도로 고려할 필요 없다. 300만톤 설비에서 나오는 금속 제품의 양은 경우에 따라 국내 시장 규모를 넘어서기 때문에 세계 시장 관점에서의 경쟁력도 고려해야 한다. 본 연구에서는 망간을 추출하지 않는 것으로 가정하고 있지만, 만약 망간까지 추출한다고 하면 연간 976,500톤이 나오는데 이는 2025년 국내 망간 수요 추정치 524,000톤을 훨씬 웃도는 것이다. 하지만 이 경우에도 가까운 중국이나 일본의 제철 회사에 망간 스크랩을 제공하여 그 가치와 처리 비용이 상계되도록 할 수 있기 때문에 심각한 문제라고 볼 수는 없다. 니켈과 동은 현재 시점의 국내 시장에서도 충분히 소화 가능하므로 전혀 문제 없다. 코발트의 경우 현재 국내 시장 수요보다는 많지만, 2030년의 국내 예상 수요 규모 15,000톤에 비해서는 훨씬 작은 규모이기 때문에 충분히 소화가 가능하다. 따라서 300만톤 규모 설비의 경우에도 시장 점유율 또는 판로에 대한 별도의 고려는 거의 필요하지 않다.

설비투자의 마지막 5년차에는 정상 가동의 50% 수준으로 시험 가동이 이뤄진다고 가정하였다. 시험 가동이지만 실제 망간 단괴를 채광하기 때문에 이로부터 나오는 망간단괴도 제련소가 가동되는 시점부터 제련되어 각종 금속 제품을 생산하는데 사용될 수 있다. 편의상 해당 연도에 나오는 정상 채광량의 50% 수준의 망간단괴는 당해 연도에 처분되어 그만큼 편익에 기여하는 것으로 간주하였다.

분석 시나리오

광물채광량: 채광량은 연 150만톤과 300만톤의 두 가지 시나리오에 대해 분석하였다. 기존 해외 경제성 분석 사례에서 많이 고려된 채광 규모이며, 우리나라의 망간단괴 개발 관련 연구개발에서도 위와 같은 규모를 고려하여 각종 장비가 개발되고 있다.

망간단괴내 금속 성분비는 심해저자원개발협의회 홈페이지 및 해양수산부 보도자료(2007년4월19일)의 수치를 사용하였다.

정련비는 남 등(2004)에서는 Ni(97%), Cu(94%), Co(90%), Mn(93%)를 사용하였고, 해양수산부(1997) 보고서에는 Ni(93%), Cu(95%), Co(85%), Mn(93%)로 나타나있다. 이 수치들은 10년 전의 수치도 있고, 일본 등 해외 사례에서 인용한 수치들도 있기 때문에 현재 우리나라 기술적 역량을 충분히 반영한다고 보기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 국내 망간단괴 체련 연구개발 분야의 연구책임자를 인터뷰하여 실제 도달 가능한 정련비를 구하였다. Ni의 경우 현재 대략 90% 수준의 정련비를 실험실에서 얻는 수준인데 향후 93%까지는 충분히 가능할 것이라고 한다. Cu는 93%, Co는 89~90%까지는 가능할 것이라고 한다. 이러한 점을 고려하여 최종적으로, Ni(93%), Cu(93%), Co(90%)의 정련비를 채택하였다. Mn의 경우는 본 연구에서는 별도의 체련 과정을 거치지 않고 슬래그 상태로 제철회사에 넘기는 것을 가정하고 있기 때문에 별도로 정련비를 고려할 필요가 없다.

가격: 편익과 관련된 가장 중요한 것은 금속 제품 가격이기 때문에 역시 관련된 시나리오를 다양하게 반영하였다. 문제는 금속 제품 가격은 변동성이 대단히 크기 때문에 시계열 모형에 의한 추정 은 신뢰하기 어렵다는 점이다. 특히 20~30년을 초과하는 장기 예측은 소비량 예측의 경우와는 달리 현실적 의미에서 거의 불가능하다고 할 수 있다(황, 1995).

따라서 전문가 설문 조사의 장기 가격 전망 결과를 이용하여 편익 규모를 추정하였다. 전문가 대상 설문조사 결과 도출된 10년후 가격전망과 30년후 가격 전망치를 활용하여 가격 상승 시나리오를 구성하였으며 가격이 유지되는 시나리오도 고려하였다.

가격 상승 시나리오의 경우, 현재부터 10년후까지는 설문조사 결과 도출된 10년후 가격 전망치까지 일정하게 증가하고, 그 이후에는 30년후 가격 전망치까지 또 역시 일정하게 증가하는 것으로 간주하였다. 전문가들은 중장기적으로 가격이 상승할 것으로 전망하고는 있지만, 어떤 제품이든 실질 가격이 무한정 증가할 수는 없는 것이므로, 30년이 지난 시점부터는 30년후 가격이 유지되는 것으로 가정하였다.

가격이 상승할 것으로 전망하든 유지될 것으로 전망하든 기준 되는 가격이 필요한데, 기준 가격은 최신 가격, 과거 3년간 평균 가격, 과거 5년간 평균 가격 등 3가지를 시나리오에 반영하였다. 따라서 가격 상승 및 유지의 경우 각각 3가지의 기준 가격을 고려하여 총 6가지의 가격 관련 시나리오를 구성하였다.

이렇게 되면 비용 관점에서 고려한 6가지 시나리오와 가격 관점에서 고려한 6가지 시나리오를 동시에 고려할 경우 총 36종의 시나리오를 고려할 수 있게 된다.

Scenario List: 앞에서 언급한 바와 같이 비용 관점에 6가지와 가격 관점에 6가지를 조합하여 모두 36가지의 시나리오를 분석 대상으로 하였다. 가격 전망에 대해서는 언뜻 상승과 유지만 고려하고 있는 것처럼 보이지만 실은 기준 가격을 과거 5년 평균, 과거 3년 평균, 최신 가격 등 다양하게 설정하고 있기 때문에 여러 가지 가능성을 모두 내포하고 있다. 최근 금속 가격이 급격하게 상승하였기 때문에 과거 5년이나 3년 평균 가격은 최신 가격을 크게 밀도는 것이고, 따라서 향후 가격이 최근의 가격 급등 추세에서 반전되어 가격이 어느 정도까지 하락한다 하더라도 본 연구의 분석 범위를 크게 벗어나지는 않을 것으로 판단된다.

일반적으로는 편익을 결정하는 주요 변수로서 가격뿐만 아니라 시장 규모, 시장 점유율 등도 있다. 그러나 앞에서 언급한 대로 망간단괴 개발을 통해 생산되는 금속 제품의 규모가 전세계 시장 규모에 비해 미미한 수준에 불과하고 국내 수입 물량을 일부 대체할 수 있는 정도이기 때문에 시장 규모나 시장 점유율이 문제가 되지는 않는 상황이다. 따라서 시장 규모 및 시장 점유율과 관련해서는 전문가 대상 설문 조사 결과도 있고, 간략한 모형을 통해 예측한 결과도 있지만 이를 별도로 시나리오에 반영하지는 않았다.

경제성 평가

시나리오별로 총 비용의 2007년 시점 현재가치와 총 편익의 현재가치를 구했으며, 총 편익에서 총 비용을 제함으로써 NPV(Net

Table 9. 광물채광량

광물종류	망간(페로망간)	니켈	구리	코발트	
망간단괴내의 성분비	28.00	1.20	1.10	0.20	
정련비		0.93			
금속 함유량(%)	0.8	1	1	1	
채광량	1.5M	488250	16740	15345	2790
(단위 톤)	3.0M	976500	33480	30690	5580

Table 10. 가격이 상승할 경우 년도에 따른 가격

(US\$/ton)

	과거 5년 평균가격 기준			과거 3년 평균가격 기준			현재 가격 기준		
	Cu	Ni	Co	Cu	Ni	Co	Cu	Ni	Co
2007	4348.525	21570.85	41887.75	4988.83	21995.68	39906.41	7455	52490	65587.87
2020	5134.217	25637.39	49955.34	5890.21	25799.95	47592.38	8801.969	62385.41	78220.09
2030	5326.422	26361.09	51515.66	6110.72	26751.87	49078.90	9131.48	64146.45	80663.24

Table 11. 가격이 유지될 경우의 가격

(US\$/ton)

	과거 5년 평균가격 기준			과거 3년 평균가격 기준			현재 가격 기준		
	Cu	Ni	Co	Cu	Ni	Co	Cu	Ni	Co
	4348.525	21570.85	41887.75	4988.83	21995.68	39906.41	7455	52490	65587.87

Table 12. Net Cost (단위 : 백만달러)

	비관	중립	낙관
150만톤	3564.26	3018.73	2431.24
300만톤	6209.91	5045.70	4510.56

Table 13. Net Cost (단위 : 백만달러)

	과거 5년 평균가격 기준	과거 3년 평균가격 기준	현재 가격 기준
150만톤 Net Benefit	3354.16	3410.72	7253.54
300만톤 Net Benefit	6708.32	6821.44	14507.08

Present Value)를 구하였다. 또, 총 편익을 총 비용으로 나누어 줌으로써 B/C 비율을 구하였다. 한편, NPV가 0 이상은 시나리오를 대상으로 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return)을 구하였다. 내부 수익률이 클수록 사업성이 좋다는 것을 의미한다.

Net Cost

2007년 시점에서 평가한 총 비용은 다음과 같다. 300만톤 채광량 규모의 중립 시나리오에서는 50억4570만 달러로 나왔고, 150만톤 중립 시나리오에서는 30억1873만 달러로 평가되었다.

Net Benefit(2019년부터 2049년까지 채광기준)³⁾

총 편익은 현재 가격을 기준으로 할 때, 가격이 상승하는 경우 300만톤 채광량 규모에서는 145억708만 달러, 150만톤 규모에서는 72억5354만 달러로 평가되었다. 가격이 유지되는 경우에는 300만톤 규모에서는 119억3326만 달러, 150만톤 규모에서는 59억6663만 달러로 평가되었다.

NPV(Net Present Value)

NPV는 현재 가격을 기준으로 향후 가격이 상승할 경우 300만톤 중립 시나리오에서 94억6138만 달러, 150만톤 중립 시나리오

Table 14. 가격이 유지될 경우 Net Benefit (단위 : 백만달러)

	과거 5년 평균가격 기준	과거 3년 평균가격 기준	현재 가격 기준
150만톤 Net Benefit	2758.13	2817.22	5966.63
300만톤 Net Benefit	5516.27	5634.43	11933.26

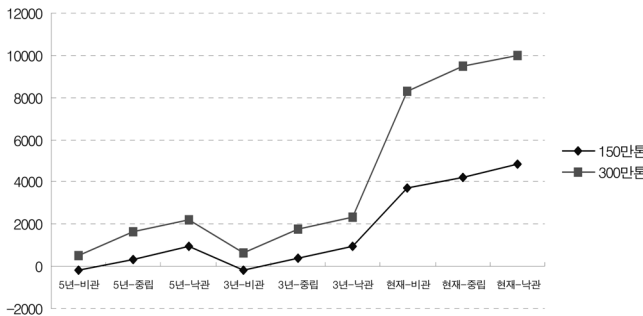


Fig. 2. 가격이 상승할 경우 NPV.

³⁾2019년은 시험가동 단계이므로 2020년 이후 생산량의 50%만을 고려하였음.

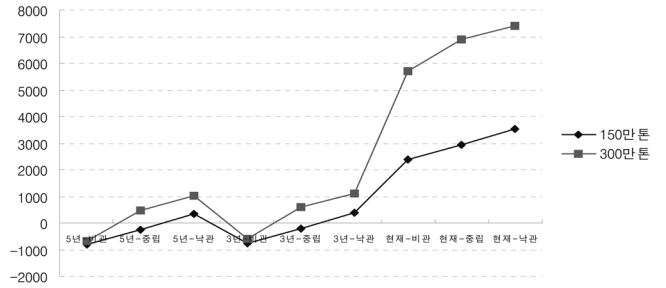


Fig. 3. 가격이 유지될 경우 NPV.

에서 42억3481만 달러로 평가되어 일정한 수익을 올릴 수 있는 것으로 나타났다.

현재 가격을 기준으로 가격이 유지되는 경우에는 300만톤 중립 시나리오에서 68억8756만 달러, 150만톤 중립 시나리오에서 29억4790만 달러로 평가되어 이 때에도 여전히 수익성을 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

B/C(Cost Benefit ratio)

B/C 비율은 원칙적으로 1을 넘기지만 하면 수익을 기대할 수 있음을 의미한다. 그러나 공공투자사업은 자금 조달에 있어 조세 왜곡이 수반될 수 있기 때문에 그것까지 감안하여 1 이상의 B/C 비율을 기준으로 경제적 타당성 여부를 판단하게 된다.

이와 관련된 논의가 공적자본의 한계비용(marginal cost of public funds; MCF)에 관한 것이다. 공공투자사업의 경우 필요한 비용의 조달은 주로 조세를 통하여 이루어지게 되는데, 조세정수를 통한 자금의 조달은 일반적으로 조세왜곡을 수반하게 된다. 따라서 민간투자사업의 경우와 달리 공공투자사업의 경우에는 사업에 투입되는 금액만을 비용으로 간주할 경우 조세왜곡에 따른 국민후생의 감소를 반영하지 못하게 되는 문제가 발생하는데, 이러한 문제를 해결하기 위해서 요구되는 개념이 바로 공적자본의 한계비용이다. 공적자본의 한계비용(이하 MCF)은 공적자금 1단위의 조달에 수반되는 후생의 크기를 나타내므로 “1+조세왜곡에 따른 초과부담”으로 정의된다. 따라서 이론적으로 공공투자사업의 타당성 여부는 일반적으로 사용되는 것처럼 비용과 편익을 단순비교할 것이 아니라 비용에 MCF를 곱한 값을 편익과 비교함으로써 결정되어야 한다. 즉 편익의 현재가치가 “비용의 현재가치 MCF”보다 더 클 경우에만 그 사업은 타당성을 가지는 것으로 결정되어야 하고, 만일 MCF가 1보다 더 크다면 이러한 조정은 비용-편익 분석에 보다 엄격한 기준을 적용하는 셈이 될 것이다. 결국 MCF를 도입하는 것은 비용-편익 분석에서 흔히 논의되는 “최소 B/C비율”을 결정하는 것과 같은 개념이 될 것이다. 미국의 경우 조세의 초과부담 등을 감안해 최소 B/C 비율을 1.25로 상향조정하고는 있는데 비해, 우리의 경우 현재까지 실제 분석에 직접 적용할만한 적정 MCF 추정치는 도출되어 있지않고 대략 1.10~1.15 정도의 범위를 제시하고 있다(KDI, 2004).

현재 가격을 기준으로 가격이 상승하는 경우 300만톤 규모에서나 150만톤 규모에서나, 또 비용 전망의 낙관, 비관, 중립 여부를 통틀어 B/C 비율이 모두 2를 초과하였다. 이는 다소 엄격한 미국의 기준(B/C 비율 1.25 이상)에 비추어 보더라도 사업성이 있음을

Table 15. 가격이 상승할 경우 B/C ratio

150만톤		300만톤	
5년/비관	0.94	5년/비관	1.08
5년/중립	1.11	5년/중립	1.33
5년/낙관	1.38	5년/낙관	1.49
3년/비관	0.96	3년/비관	1.10
3년/중립	1.13	3년/중립	1.35
3년/낙관	1.40	3년/낙관	1.51
현재/비관	2.04	현재/비관	2.34
현재/중립	2.40	현재/중립	2.88
현재/낙관	2.98	현재/낙관	3.22

Table 16. 가격이 유지될 경우 B/C ratio

150만톤		300만톤	
5년/비관	0.77	5년/비관	0.89
5년/중립	0.91	5년/중립	1.09
5년/낙관	1.13	5년/낙관	1.22
3년/비관	0.79	3년/비관	0.91
3년/중립	0.93	3년/중립	1.12
3년/낙관	1.16	3년/낙관	1.25
현재/비관	1.67	현재/비관	1.92
현재/중립	1.98	현재/중립	2.37
현재/낙관	2.45	현재/낙관	2.65

의미한다. 가격이 유지되는 경우에도 300만톤 및 150만톤 규모에서 비용 관점에서 비관, 낙관, 중립을 막론하고 모두 KDI가 제시하고 있는 최소 B/C 비율인 1.15를 초과하였다.

다만, 과거 5년 또는 3년 평균 가격을 기준으로 하였을 때는 비용 시나리오가 중립 또는 그보다 나쁜 경우에는 B/C 비율이 1 이하로 나타나는 경우도 있어 혹시 있을지도 모르는 금속제품 가격 하락 국면에 대해서는 별도의 대비책이 필요하다고 판단된다.

IRR(Internal Rate of Return)

IRR이란 비용편익분석에서 편익의 현재가치와 비용의 현재가치가 동일하게 되도록 하는 할인율을 말한다. 즉, 순현재가치(net present value)가 영(零)이 되도록 하는 할인율을 말한다. 이 내부수익률의 개념은 사업평가에 적용할 적절한 할인율이 알려져 있지 않은 경우, 사업평가에 매우 유용한 개념이다.

NPV가 0 이상인 경우 IRR을 구하였는데, 현재 가격을 기준으로 가격이 상승하는 경우에는 300만톤 규모 중립 시나리오에서는 43.67%, 150만톤 중립 시나리오에서는 38.52%로 나타났다. 현재 가격이 유지되는 경우에는 300만톤 중립 시나리오에서는 37.12%, 150만톤 중립 시나리오에서는 32.0%로 나타나 상당한 사업성이 있는 것으로 나타났다.

그러나 과거 3년 평균 가격을 기준으로 가격이 상승할 경우에는 IRR이 다소 작아져 300만톤 중립 시나리오에서는 17.66%, 150만톤 중립 시나리오에서는 12.08%로 나타났다. 과거 3년 평균 가격을 기준으로 가격이 유지되는 경우에는 300만톤 중립 시나리오에서는 11.57%, 150만톤 중립 시나리오에서는 수익을 내지 못하는 것으로 나타났다.

Table 17. 가격이 상승할 경우 IRR

(단위 : %)

5년 평균가격					
150만톤			300만톤		
비관	중립	낙관	비관	중립	낙관
x	11.51	19.19	10.34	17.18	22.61
3년 평균가격					
150만톤			300만톤		
비관	중립	낙관	비관	중립	낙관
x	12.08	19.7	10.9	17.66	23.12
현재 가격					
150만톤			300만톤		
비관	중립	낙관	비관	중립	낙관
30.87	38.52	46.72	36.22	43.67	51.47

Table 18. 가격이 유지될 경우 IRR

(단위 : %)

5년 평균가격					
150만톤			300만톤		
비관	중립	낙관	비관	중립	낙관
x	x	12.55	x	10.82	15.84
3년 평균가격					
150만톤			300만톤		
비관	중립	낙관	비관	중립	낙관
x	x	13.34	x	11.57	16.64
현재 가격					
150만톤			300만톤		
비관	중립	낙관	비관	중립	낙관
24.87	32.00	40.00	29.99	37.12	44.45

민감도 분석

시나리오에 반영하지 않은 변수들 가운데 우리의 가정과 다른 값을 사용할 경우에 분석 결과에 어느 정도의 영향을 미치는지 살펴보기 위해 민감도 분석을 수행하였다. 고려한 변수는 생산 비용 증감 수준과 생산 기간이다. 본 연구에서는 채광량 규모별 비관, 낙관, 중립 등 여러 비용 시나리오를 고려하였기 때문에 본 연구 결과는 미래 발생할 수 있는 대부분의 경우를 포괄할 수 있을 것으로 기대하기는 하지만, 혹시 있을 수도 있는 비용 변동 상황을 대비한다는 측면에서 비용 증감 수준에 따른 민감도 분석을 수행하였다. 한편 생산 기간은 30년으로 하였는데 이 기간이 줄거나 늘 때 분석 결과에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 역시 민감도 분석을 수행하였다.

민감도 분석은 다음과 같은 조건의 시나리오에 대해서만 분석하였다.

- 생산량 : 300만 톤
- 비용 : 중립
- 가격 : 현재 가격 유지

비용 변동성에 대한 민감도 분석

비용이 50% 수준으로 줄어드는 경우부터 300%까지 증가하는 경우에 B/C 비율을 살펴본 결과 비용이 180%까지 늘어나도 B/C 비율이 1.25 수준을 넘어 사업성을 유지할 수 있는 것으로 나타났다

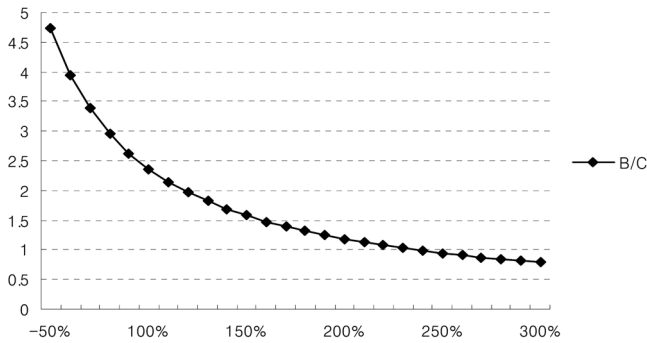


Fig. 4. 비용 변동성에 대한 민감도 분석결과 - B/C ratio.

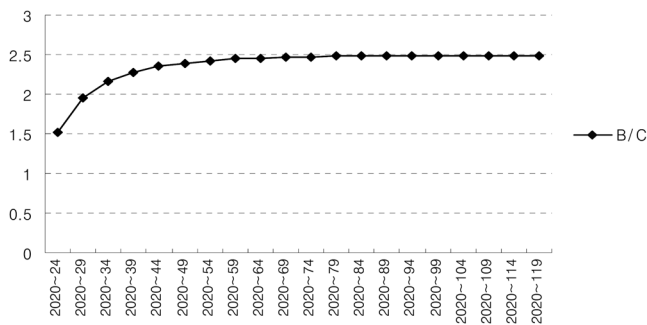


Fig. 5. 생산기간 변동성에 대한 민감도 분석결과 - B/C ratio.

다. 물론 이는 300만톤 채광량으로 규모의 경제를 달성하고, 또 최근에 급등한 금속 가격이 앞으로 계속 유지한다는 것을 전제로 분석한 것임을 염두에 두어야 할 것이다.

- 비용 변동 범위: -50%~300%

생산기간 변동성에 대한 민감도 분석

본 연구에서는 생산 기간을 30년으로 잡았는데, 민감도 분석 결과에 따르면 만약 생산 기간이 20년으로 단축된다 하여도 B/C 비율은 2.38에서 2.27로 0.11 감소하는데 그치는 것으로 나타났다. 한편, 생산기간을 30년 이상 늘린다고 하여도 결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 예컨대 2079년까지 60년 동안 생산한다고 가정하여도 B/C 비율은 2.46로 0.08 증가에 그치는 것으로 나타났다.

- 생산기간 변동 범위 : 20년~100년

결 론

본 연구에서는 비용 관점에 6가지와 가격 관점에 6가지를 조합하여 모두 36가지의 시나리오를 대상으로 경제성 평가를 수행하였다. 가격 전망에 대해서는 전문가 설문 조사에 의한 상승 시나리오와 가격 유지 시나리오를 고려하고 각각의 경우 기준 가격으로서 과거 5년 평균, 과거 3년 평균, 최신 가격 등 다양하게 설정하였다. 모든 경우의 수를 완전하게 포괄할 수는 없지만 이렇게 설정된 36가지의 시나리오는 미래 전개될 수 있는 여러 가지 가능성을 대부분 포괄할 수 있을 것으로 기대된다. 최근 금속 가격이 급격하게 상승하였기 때문에 과거 5년이나 3년 평균 가격은 최

신 가격을 크게 밀도는 것이고, 따라서 향후 가격이 최근의 가격 급등 추세에서 반전되어 가격이 어느 정도까지 하락한다 하더라도 역시 본 연구의 시나리오 범위를 크게 벗어나지는 않을 것으로 판단된다.

이렇게 설정된 시나리오별로 총 비용의 2007년 시점 현재가치와 총 편익의 현재가치를 구했으며, 총 편익에서 총 비용을 제함으로써 NPV(Net Present Value)를 구하였다. 또, 총 편익을 총 비용으로 나누어 줌으로써 B/C 비율을 구하였다. 한편, NPV가 0 이상인 시나리오를 대상으로 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return)을 구하였다.

NPV는 현재 가격을 기준으로 향후 가격이 상승할 경우 300만톤 중립 시나리오에서 94억6138만 달러, 150만톤 중립 시나리오에서 42억3481만 달러로 평가되어 일정한 수익을 올릴 수 있는 것으로 나타났다. 현재 가격을 기준으로 가격이 유지되는 경우에는 300만톤 중립 시나리오에서 68억8756만 달러, 150만톤 중립 시나리오에서 29억4790만 달러로 평가되어 이 때에도 여전히 수익성을 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

B/C 비율을 보면, 현재 가격을 기준으로 가격이 상승하는 경우, 300만톤 규모에서나 150만톤 규모에서나, 또 비용 전망의 낙관, 비관, 중립 여부를 통틀어 B/C 비율이 모두 2를 초과하였다. 이는 다소 엄격한 미국의 기준(B/C 비율 1.25 이상)에 비추어 보더라도 사업성이 있음을 의미한다. 가격이 유지되는 경우에도 300만톤 및 150만톤 규모에서 비관, 낙관, 중립 등 어떤 비용 시나리오에서도 모두 KDI(2004)에서 제시되고 있는 우리나라의 대략적인 최소 B/C 비율 1.15를 초과하였다.

다만, 과거 5년 또는 3년 평균 가격을 기준으로 하였을 때는 비용 시나리오가 중립 또는 그보다 나쁜 경우에는 B/C 비율이 1 이하로 나타나는 경우도 있어 혹시 있을지도 모르는 금속제품 가격 하락 국면에 대해서는 별도의 대비책이 필요하다고 판단된다.

NPV가 0 이상인 경우 IRR을 구하였는데, 현재 가격을 기준으로 가격이 상승하는 경우에는 300만톤 규모 중립 시나리오에서는 43.67%, 150만톤 중립 시나리오에서는 38.52%로 나타났다. 현재 가격이 유지되는 경우에는 300만톤 중립 시나리오에서는 37.12%, 150만톤 중립 시나리오에서는 32.0%로 나타나 상당한 사업성이 있는 것으로 나타났다.

그러나 과거 3년 평균 가격을 기준으로 가격이 상승할 경우에는 IRR이 다소 작아져 300만톤 중립 시나리오에서는 17.66%, 150만톤 중립 시나리오에서는 12.08%로 나타났다. 과거 3년 평균 가격을 기준으로 가격이 유지되는 경우에는 300만톤 중립 시나리오에서는 11.57%, 150만톤 중립 시나리오에서는 수익을 내지 못하는 것으로 나타났다.

망간단괴 개발 사업의 경제성을 종합적으로 판단해볼 때 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있다.

첫째, 2007년 상반기 금속 제품 가격이 유지되거나 상승하는 경우에는 어떠한 비용 시나리오나 채광량 규모에도 상관없이 경제성이 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 최근 들어 급상승한 금속 가격에 기인한다. 금속 가격에 대해서는 장기 전망을 하기가 어렵지만, 본 연구에서 수행한 설문조사에 응답한 전문가들은 중장기적으로 가격이 상승할 가능성이 크다고 전망하고 있다. 이러한 전문가들의 전망이 옳다면 망간단괴 개발 사업의 경제성은 긍정적

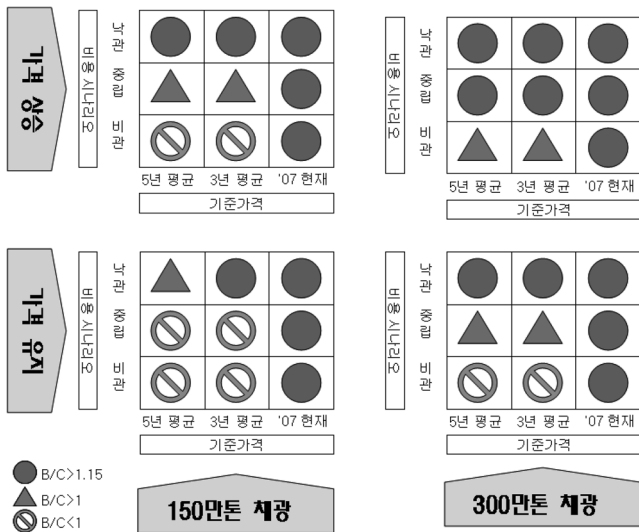


Fig. 6. 시나리오별 경제성 평가 결과.

으로 평가받을 만하다.

하지만 기준 가격을 과거 5년 평균 가격을 설정하였을 경우에는 사업 추진에 있어 리스크가 상당히 큰 것으로 판단된다. 비용이 조금만 높아지거나 채광량 관점에서 규모의 경제를 충분히 확보하지 못하면 대부분 경제성이 없게 된다. 이는 과거 금속 제품 가격이 상당히 낮게 형성되었기 때문이다. 전문가들은 중장기적으로 그러한 낮은 수준의 가격이 오래 지속되는 상황은 앞으로 발생하지 않을 가능성이 크다고 보고 있지만, 금속 가격의 변동성이 크기 때문에 정부 입장에서는 충분한 사전 대비가 필요하다고 판단된다.

둘째, 낙관적인 비용 시나리오의 경우, 어떠한 상황에서도 B/C 비율이 1을 넘으며, 대부분의 경우 본 연구에서 가정된 최소 B/C 비율 1.15도 초과하여 경제성이 우수한 것으로 나타났다. 반대로 비관적인 비용 시나리오에서는 웬만큼 여건이 좋지 않으면 경제성이 없는 것으로 나타났다. 비관적인 비용 시나리오에서도 경제성이 있는 경우는 2007년 상반기 금속 제품 가격을 기준 가격으로 설정하였을 때뿐이다. 즉, 향후 금속 제품 가격이 현재의 고가격 수준을 유지하거나 상승하는 경우에는 비용이 커도 경제성을 보일 수 있지만, 그렇지 않을 경우는 고비용 때문에 사업의 경제성을 보장할 수 없게 된다.

비용 절감은 기본적으로 기술 발전을 통해 상당 부분 달성될 수 있기 때문에, 더욱 공격적인 정부 R&D 투자가 낙관적인 비용 시나리오를 구현하는데 도움이 될 수 있다. 그러나 대형 국책사업의 경우 사업이 진행됨에 따라 애초에 책정된 예산을 초과하는 경우가 많기 때문에 이 부분에 대해서는 상당한 주의를 요한다. 한편, 사업 추진이 민간 주도로 이루어질 경우에도 민간 기업의 속성상 상당 수준의 비용 절감을 달성할 수 있을 것으로 기대된다. 정리하자면, 낙관적인 비용 시나리오를 구현하기 위해서는 기술 발전을 통한 비용 절감 효과를 얻기 위해 과감한 정부 R&D 투자가 필요하며, 연구개발 단계에서부터 민간 기업을 참여시켜 사업 추진의 효율성을 높일 필요가 있다.

셋째, 150만톤 보다는 300만톤 채광량이 규모의 경제를 달성하

는데 더욱 유리하며, 300만톤의 경우 특별한 몇몇 비판 시나리오를 제외하고 대부분 경제성이 우수한 것으로 나타났다. 물론 규모를 키우는 것에는 규모의 경제라는 긍정적인 측면도 있지만, 리스크 증가라는 부정적 측면도 있다. 따라서 무턱대고 규모를 키워서는 안되며, 여러 가지 잠재적 리스크를 예측하여 의사결정을 내려야 한다. 실물옵션 분야에서 다루는 유연성 가치 개념은 이러한 의사결정이 적절히 이뤄지도록 하는데 도움이 될 수 있다. 예컨대 본 연구에서는 150만톤과 300만톤을 별도의 시나리오로 설정하였지만, 사업의 유연성을 확보하기 위하여 확장 옵션을 고려할 수 있다. 확장 옵션이란 처음에는 150만톤으로 시작하였다가 가격이 나 시장 규모 등 상황이 더욱 좋아지면 그에 따라 300만톤으로 규모를 확장하는 것이다. 이러한 것까지 고려하여 경제성을 평가하는 것은 향후의 과제로 남긴다.

참고문헌

KDI, 2003, 경인운하사업의 사업성 분석 및 사업추진전략 연구
 KDI, 2004, 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구 (제4판)
 KID, 2005, BTL 민간투자사업 『타당성 및 민간투자 적격성 조사』 수행을 위한 세부요령 연구(안).
 김재형, 2006, 예비 타당성 및 민자적격성 조사 방법론, KDI 남광현, 오위영, 권석재, 2004, 심해저 망간단괴 개발사업의 경제적 타당성 재평가, *Ocean and Polar Research*, 26: 187-97.
 박세현, 2004, 심해저광물자원의 경제성평가 수법의 개발, 박사학위 논문, 동경대학.
 심해저자원개발협의회 홈페이지 www.kadom.or.kr.
 해양수산부, 1997, 해양과학기술 실용화 촉진대회 연구보고서, p87.
 해양수산부, 2000, 해외 해저광물자원 개발.
 해양수산부, 2003, 심해저 광물자원 개발 로드맵.
 해양수산부, 2006, 「2005년 남서태평양 광물자원개발, II편」
 해양수산부 보도자료, ‘태평양 망간단괴 채광시스템 개발: 한국지질자원연구원 윤치호 박사팀 25일 거제서 실험역 시험’, 2007년4월19일.
 홍승용, 1988, 심해저 망간단괴 광업의 경제성 평가에 관한 연구, 경희대학교 박사학위 논문.
 홍승용, 유시용, 1984, 한국의 심해저 망간단괴 개발: 법적, 경제적 전망, *Bulletin of KORDI* 6, pp57-64.
 황기형, 1995, 우리나라 심해저 망간단괴 개발사업의 경제성에 관한 연구, *Ocean Research* 17(2): pp157-175.
 황기형·조규남, 1997, 우리나라 심해저 광물자원 개발사업의 경제성평가 연구, *해양정책*, 12: 41-47.
 황석원, 2006, 전략적 유연성을 고려한 연구개발사업의 경제성 평가: 이론 및 사례 분석, *기술혁신연구* 14권 3호.
 Browne, John, 2004, The outlook for the world oil market, URL <http://www.bp.com/genericarticle.do?categoryId=98&contentId=7002851&PC=100d186>.
 USGS, 2005, “2005 Mineral Year Book, Mineral commodity summaries”.

2008년 5월 24일 원고접수
 2008년 7월 16일 수정본 채택
 담당편집위원: 이경용