

지하자원 추계방법 개선을 위한  
심층연구

2018

한국지질자원연구원



지하자원 추계방법 개선을 위한

심층연구

2018

한국지질자원연구원

# 제 출 문

통계청장 귀하

본 보고서를 “지하자원 추계방법 개선을 위한 심층 연구” 연구의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 9.

한국지질자원연구원

## 연 구 진

---

연구책임자 : 김 지 환 선임연구원

연구참여자 : 이 동 길 책임연구원

유 옥 종 책임기술원

## <제목 차례>

|       |                   |    |
|-------|-------------------|----|
| 제 1 장 | 서론                | 1  |
| 1.    | 연구배경 및 목적         | 1  |
| 2.    | 연구대상 및 범위         | 2  |
|       | (1) 연구대상          | 2  |
|       | (2) 연구범위          | 3  |
| 3.    | 연구방법              | 4  |
|       | (1) 접근방법          | 4  |
|       | (2) 자료수집 및 활용방법   | 4  |
| 제 2 장 | 선행사례 검토           | 6  |
|       | (1) 일본·유럽 방식      | 6  |
|       | (2) 호주·미국 방식      | 8  |
|       | (3) 시사점           | 9  |
| 제 3 장 | 지하자원의 가치추계        | 11 |
|       | (1) 가채광량 및 대상광종   | 11 |
|       | (2) 지하자원의 가치추계 구조 | 13 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1. 비용요소 .....              | 16 |
| (1) 채광법의 선택 .....          | 16 |
| (2) 채광의 방법 .....           | 17 |
| (3) 광산의 비용요소 .....         | 20 |
| (4) 생산비용 .....             | 25 |
| (5) 생산장비의 구성 .....         | 27 |
| (6) 화약 및 천공장비의 비용 .....    | 29 |
| 2. 비금속광의 갱내채광 비용 .....     | 31 |
| (1) 비금속광의 노천채광과 갱내채광 ..... | 31 |
| 제 4 장    현재가치화 방법 .....    | 35 |
| (1) 가치평가 .....             | 35 |
| 제 5 장    시    산 .....      | 44 |
| (1) 시산개요 .....             | 44 |
| (2) 매장량의 잠재가치 .....        | 45 |
| (3) 파쇄비용 .....             | 47 |
| (4) 상차 및 운반비용 .....        | 50 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| (5) 인건비 .....                   | 51 |
| (6) 화약사용량과 천공장비 .....           | 52 |
| (7) 노천과 갱내채광의 반영 .....          | 52 |
| (8) 시산결과 .....                  | 52 |
| 제 6 장 부 가 사 항 .....             | 54 |
| (1) 광물탐사 및 지하수자산 .....          | 54 |
| (2) 기타 추계시계열, 부문 및 활동별 배분 ..... | 5  |
| (3) 가채연수의 문제 .....              | 55 |
| (2) 총량접근법 .....                 | 56 |
| <br>                            |    |
| <참고문헌> .....                    | 59 |
| 부록 1. 시산의 산식 .....              | 61 |
| 부록 2. 갱내채광 효과의 실증분석 결과 .....    | 72 |

## <표 차례>

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 표 1. 지하자원의 의미(2008SNA) .....     | 2  |
| 표 2. 광물별 경도 .....                | 14 |
| 표 3. 채광법 선정요인별 적합성 .....         | 19 |
| 표 4. 생산비의 항목과 내역 사례 .....        | 21 |
| 표 5. 부문별 설비 및 시설 사례 .....        | 22 |
| 표 6. 비금속광종의 장비 선정 .....          | 28 |
| 표 7. 금속광종의 장비 선정 .....           | 28 |
| 표 8. 금속광의 화약 및 천공장비 비용 비중 .....  | 30 |
| 표 9. 비금속광의 화약 및 천공장비 비용 비중 ..... | 31 |
| 표 10. 석회석 광산의 갱내 현황 .....        | 32 |
| 표 11. 규사·규석 광산의 갱내 현황 .....      | 33 |
| 표 12. 납석 광산의 갱내 현황 .....         | 33 |
| 표 13. 기준 시산결과 .....              | 53 |

## <그림 차례>

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 그림 1. 가채광량의 의미 .....       | 11 |
| 그림 2. 매장량 개념의 국가간 비교 ..... | 12 |
| 그림 3. 광산제품생산 공정도 .....     | 24 |

# 제 1 장 서 론

## 1. 연구배경 및 목적

현재 추계방법은 2007년부터 적용된 방법으로 광업법에 의한 ‘광산생산보고’를 통해 개별 광산의 생산 여건과 요소수요 및 그 비용을 파악할 수 있는 환경에서 구축된 방법이다. 그러나 광업법은 2010년에 개정되었고, 개정 광업법에 따라 현재는 개별 광산의 생산여건, 요소수요 및 그 비용에 관한 정보를 알 수 없으며, 이는 간접추계를 지향하는 지하자원 추계 과정에는 비용추정을 곤란하게 하는 효과를 초래하였다. 따라서 현재의 자료여건을 고려하면 지하자원의 가치를 추계할 수 있도록 비용요소에 대한 추정기법 조정이 요구된다.

한편, 지하자원의 가치화 과정인 생산현장에서는 생산기술의 발전과 사회·제도적인 가치기준 변화에 따라 과거 노천채광 중심의 경제활동에서 점차 갱내채광의 비중이 증가하고 있다. 특히 석회석과 같이 대규모 노천채광으로 인해 자연환경의 변화가 수반되는 채광활동은 주요 관리 대상이 되는데, 과거의 경제활동에 대한 중요성에 비해 환경보전의 요구가 증가하고 있는 단편이라 할 수 있다. 이와 같이 최근의 지하자원 가치는 과거와 다른 비용부분을 감당해야 하는 상황에 있고, 이는 갱내채광으로의 채광법 제한이라는 형태로도 나타나고 있다.

지하자원의 자산가치를 추계하는 데에 있어 가장 중요한 여건상의 변화는 상기한 요소수요량 확인불가, 채광법 변화 부분이라 할 수 있다. 본 연구는 이와 같은 여건 변화에 대해 적합한 추계방법을 제안할 것을 주목

적으로 하며, 아울러 생산요소 자료의 변화, 현장상황의 반영 등에 대해서도 검토하여 보다 정제된 추계방법을 제안할 것을 목적으로 한다.

## 2. 연구대상 및 범위

### (1) 연구대상

본 연구는 지하자원의 가치를 간접적으로 추계하는 것을 주목적으로 하고 있으므로, 연구대상은 지하자원이다. 이와 관련해 2008SNA는 지하자원에 관해 다음과 같이 기술하고 있다.

표 1. 지하자원의 의미(2008SNA)

지하자원(2008SNA, 12.17) : “... 현재 기술 과 상대가격에서 경제적(economically)으로 이용 가능한 확정광량(proven) 지하자원(subsoil resources)...”

2008SNA의 지하자원 규정에서 ‘경제적(economically)으로’는 ① 현재 상업적 가치가 있을 것, ② 광채규모의 비용효율성을 가질 것의 두 가지 의미를 지니고 있다. ①이 의미하는 것은 현재시점에서 상업적 거래의 가치가 있어야 한다는 것으로, 불확실한 미래에 발생하게 될 상업적 가치의 기대만으로는 경제적으로 이용 가능한 범위에 포함되지 않는다는 것을 의

미한다. ②는 매장 광량이 비용효율의 경제성 있는 생산이 가능한가의 요건을 의미하는데, 이는 개별 광산 혹은 광구의 광채 생산이 비용 효율적으로 이루어질 수 있는가의 요건이라 할 수 있다.

2008SNA의 지하자원 규정에서 ‘확정광량(proven)’이란 추정광량이나 예상광량이 아닌 보다 확실성 높은 추정과정을 거친 매장량을 의미한다. 부존이 확인된 매장자원은 탐사과정을 통한 확실성 정도에 따라 예상광량, 추정광량, 확정광량으로 구분할 수 있는데, 확정광량이 가장 확실성 높은 추정량이다. 2008SNA는 가치 있는 지하자원 중, 이 확정광량(proven)으로 한정할 것을 권하고 있다.

## (2) 연구범위

본 연구는 지하자원의 가치를 간접 추계하는 것이므로 본 연구의 범위는 현재 여건에 적합한 간접추계기법의 제안, 적절한 현재가치화 적용방법의 제안, 기존 방법과의 양립성 확인, 관련 자료의 확보방법 제시 등을 포함한다.

현재 추계방법은 2007년부터 적용된 방법으로 광업법에 의한 ‘광산생산보고’를 통해 개별 광산의 생산 여건과 요소수요 및 그 비용을 파악할 수 있는 환경에서 구축된 방법이다. 그러나 광업법의 관계법령은 2013년에 개정<sup>1)</sup>되었고, 개정 법령에 따라 현재는 개별 광산의 생산여건, 요소수요 및 그 비용에 관한 정보를 알 수 없으며, 이는 간접추계를 지향하는 지하자원 추계 과정에는 비용추정을 곤란하게 하는 효과를 초래한다. 따라서 현재의 자료여건에서 지하자원의 가치를 추계할 수 있도록 비용요소

---

1) 광업법 시행규칙 [별지 제38호 서식]의 개정

에 대한 추정 혹은 비용추정 기법의 개발 및 제안이 필요하다.

아울러 현재가치화 방법론의 선정, 과거시계열과의 양립성, 관련 사례 연구, 추계대상의 포괄범위 및 기존 자료여건 검토 등을 연구 범위로 한다.

### 3. 연구방법

#### (1) 접근방법

본 연구주제는 선행연구 사례가 많지 않으며, 시의성, 현재성 등을 확보할 필요가 있으며, 자료접근성 측면에서 제약이 따르므로, 문헌자료 뿐만 아니라 실무적 지식을 보유한 전문가, 현장여건을 충분히 이해하고 있는 현장 전문가 등의 자문이 다수 요구된다. 이에 본 연구는 현장여건, 진행현황, 전문가 자문회의들을 활용하여 문헌이나 이론으로 의제할 수 없는 부분들을 보완하여 수행하였다.

특히 광산별 채광방식이나 산출물의 형태나 품질 등에 관해서는 광종별 평균치만이 공표되고 있어 적절한 비용산출을 위해서는 일정 수준이상의 생산과정에 대한 이해가 요구된다. 이와 같은 사항에 관해서는 공개된 신뢰성있는 문헌자료가 매우 희박하고, 각 광산에서 정보공개를 원하지 않는 경우가 많아 현장탐문과 관련 전문가 자문이 필수적이라 할 수 있으며, 본 연구 진행에 활용하였다.

#### (2) 자료수집 및 활용방법

앞서 언급했던 바와 같이 본 연구의 주제와 관련한 문헌자료, 공표된 통계자료는 많지 않기 때문에, 관련 사항의 정보가 언급되어 있는 자료를 활용해야 할 가능성이 높다. 광물자원공사가 격년간 발표하는 <광물자원매장량현황>이 기초자료로 활용될 수 있다. 그리고 한국지질자원연구원이 매년 발간하는 <광업·광산물통계연보>를 통해 생산과 관련된 정보를 활용할 수 있다. 한국지질자원연구원이 매년 발간하는 <광업·광산물통계연보>는 각 광산<sup>2)</sup>이 광물생산보고서를 제출한 결과를 요약, 정리, 분석하여 출간한다. 이 자료는 2011년을 지나면서 광업법령 개정추세와 유사하게 이전에 제공하던 개별광산 정보에 대한 통계를 제외시켰다. 따라서 2011년 무렵부터는 광종별 평균치만이 가용한 자료라 할 수 있고, 이는 개별광산의 특성에 따른 정보를 활용할 수 없게 된 것이기도 하다. 일정부분은 기존의 과거 자료를 이용하고, 일정부분은 합리적으로 의제하여 활용하는 정도가 가능할 것이다. 활용할 수 있는 자료가 제한되어 어려워진 부분은 주로 비용을 유추하기 어려워진 데에 기인하는데, 광산별 지하자원의 자산가치 추계 대상 범위 선정이나 광종별 비용특성 구분 등에서 난점이 발생하게 된다.

---

2) 광업권을 득하여 광산으로 등록한 광산을 의미하며, 이들에게 광물생산보고서를 제출하도록 하는 기본적인 이유는 광물생산을 촉진하고자 하는 것이다. 광업권을 득하여 광산 등록을 한 채로 생산활동을 하지 않는 경우 광업권을 철회하는 등의 조치를 취할 수 있도록 하고 있어, 현재, 적극적인 광업활동을 수행하고자 하는 주체를 통해 국가 경제에 기여하도록 유도하는 것이다.

## 제 2 장 선행사례 검토

국내 관련분야 연구는 많지 않으며, 대부분은 개별 광산에 대한 연구로 진행되는 형태를 보임. 본 연구의 궁극적 목적은 개별 광산에 관한 가치산정이 아니라 간접추계를 통한 국내 지하자원 부존에 대한 가치추정이므로 지하자원 생산의 일반화 평가기법이 개발되어야 하며, 이와 관련된 연구는 해외사례로도 해당 통계작성 사례가 우선 고려될 필요가 있다. 선행사례들은 크게 2가지로 구분해 볼 수 있는데, 총자산액과 순고정자산액 등을 활용하여 광업의 자산측면에서 접근하는 방식과 개별광산의 경제성을 판단하여 접근하는 방식이라 할 수 있다. 본 연구에서는 각각에 대해 전자는 일본·유럽식, 후자는 호주·미국식으로 칭하여 개략적인 설명을 제시하기로 한다.

### (1) 일본·유럽 방식

일본의 사례는 노르웨이, 네델란드의 사례와 유사한 방법을 적용하고 있는데, 노르웨이, 네델란드에 비해 가용자료의 여건이 우리 여건과 비슷하므로 일본의 사례를 기술하기로 한다.

일본의 지하자원 자산액 추계 작업은, 크게 3개의 부분으로 나눌 수가 있다. 하나는, 수익 환원법(호스콜드법)에 의한 광업의 총자산액의 추계이고, 두 번째는, 광업의 순고정 자산액의 추계, 세 번째는, 총자산액으로부터 순고정 자산액을 제하는 것에 의한 지하자원 자산액의 추계이다.

첫 번째 부분인 광업의 총자산액은, 「본방 광업의 추세」에 의해 파

악한 순생산 금액, 채취가능 조광량, 채굴광량 및 획득광량 등을 이용해 수익 환원법에 의해, 석탄, 아탄, 석유, 천연 가스, 금속광, 비금속광 별로 추계한다. 다만, 금속광 및 비금속광에 대해서는, 한층 더 세부적으로 금·은, 동, 석고, 중정석등의 각 광종별로 추계한다.

다음 두 번째 부분인 광업의 순고정 자산액은, 총고정자본형성액, 토지 조성액, 광산의 개발 투자액수, 스톡 인플레이터(기말), 플로우 인플레이터(기말 및 연평균), 「사업소 통계조사」 및 「법인기업통계계보」에 의해 파악한 광업의 사업소수 및 건설가계정 비율을 이용해, 1970년 국부조사를 기초로 추정된 석탄·아탄, 석유·천연 가스, 금속광 및 비금속광에 대해 추계한다.

세 번째 부분은 지하자원 자산액의 추계로, 광업의 총자산액으로부터 광업의 순고정 자산액을 석탄·아탄, 석유·천연 가스, 금속광 및 비금속광 별로 제해, 집계하는 것으로 추계한다.

이와 같이 일본은 3단계의 절차를 진행함으로써 지하자산의 가치를 추계하고 있는데, 호스콜드법을 활용하므로 보수이율과 축적이율의 두 개의 이자율 혹은 할인율을 사용하게 된다. 이에 보수이율로 9-15%의 광종별 차등 이율을 사용하였으며, 축적이율로 6%의 이율을 사용하였다.

노르웨이, 네델란드 등 유럽방식과의 차이점은 공정이윤(operating surplus)을 고려하여 가변요소들의 가치를 반영한다는 점과 현재가치화에 순현재가치(Net Present Value)법을 적용한다는 점이다.

한편, 어느 선행사례나 장단점이 있으나, 일본의 이 방법에서 발생할 수 있는 문제점은 현재 가행되지 않고 있는 광산의 경우 그 지하자산의 가치를 어떻게 산정하느냐가 문제점이라 할 것이다. 3단계의 절차는 광업의 총자산액을 파악하고, 광업의 순고정자산액을 파악한 후 그 차이를 구

함으로써 지하자산의 가치를 파악하는데, 현재 가행되지 않고 있는 광산의 경우 순고정자산액이 0이 될 수 있으며, 이는 곧 지하자산의 생산비를 고려하지 않은 가치가 된다. 만일 가행중인 광산만을 자산가치 추계의 대상으로 했다면 문제가 없다고 볼 수 있으나, 그 대상을 광상으로 하고 있어 광산으로서 가행여부는 대상의 기준이 아니라 볼 것이다. 따라서 비가행의 광상에 대해 자산가치를 고평가한 것으로 볼 수 있다.

## (2) 호주·미국 방식

호주와 미국은 같은 형태의 추계방법을 적용하고 있다. 호주와 미국의 지하자산 가치추계는 일본 및 유럽 방식과 달리 광종별로 지하자산 가치(resource rent)를 구하여 총 광량의 지하자산 가치를 합산하는 방식을 사용하여 이루어졌다. 지하자산 가치는 자원 1단위당 순가치로 추산되었는데, 이는 단위당 가격에서 단위당 생산비용을 차감함으로써 파악되었다. 따라서 지하자산의 생산비용을 추계하여야 했는데, 이는 AME(industry consultant company)라는 컨설턴트 회사에 의뢰하였으며 실제 적용에는 의뢰결과를 다소 조정하였다. 생산비용을 고려한 지하자산 가치는 단위당 값으로 구해졌으며 이를 평균 가치로 받아들여 총광량으로 확대했으며 이 가치의 합은 NPV(net present value)의 방법을 이용하였다. 이 모든 과정에서 호주는 5년 평균값을 이용함으로써 각 연도에 특수한 변화를 상쇄했으며 이는 NPV를 시행함에 있어 할인율의 적용에도 적용했다. 실제 총 지하자산 가치를 추계함에 있어서 활용된 할인율은 실질대기업대부이자율(real large business borrowing rate)의 5년 평균값이었는데 1990년 10%에서 2002년 6.5%로 낮아졌다.

이와 같은 호주의 지하자산 추계 방법은 생산비용의 산정이라는 문제

가 있는데, 민간 컨설팅 업체에 위탁하고 있어 공개되고 있지 않아 구체적인 방법을 확인할 수는 없으나 도출된 생산비용을 평균하여 대입했다는데에 문제의 소지가 있다. 광산 활동에 있어서 생산규모는 생산비에 영향을 주게 되는데, 이는 여러 문헌자료에서 확인할 수 있다<sup>3)</sup>.

매장량이 큰 광장과 작은 광장은 그 단위당 생산비가 상이하다는 것으로 단순히 평균생산비를 이용해 순가치(rent)를 평가하는 것은 다소 경제이론과 견해차의 소지가 있을 수 있다<sup>4)</sup>.

한편, 불완전경쟁시장의 경우 다양한 사례에서 평균비용이 한계비용을 대신하여 가격책정에 사용되는 사례<sup>5)</sup>가 있으므로 호주사례와 같은 순가치 산정방법 또한 적용 가능한 범위를 넘는다고 볼 수는 없다.

### (3) 시사점

사례를 검토한 결과, 방법별 장단점이 있는데, 이는 자료여건에 따라 적절한 방법을 찾아 적용해야함을 의미한다. 우리 여건에서는 과거 광산의 생산요소 수요현황, 광산의 생산량, 생산장비의 가격과 비용, 광산의 노동수요 현황 등 다양한 정보를 부분적으로나마 확인할 수 있었기에 광종 단위당 가치를 추계하여 경제성 있는 광구 혹은 광체에 대해 확장 적용하여 지하자원의 가치를 간접추계할 수 있었다. 현재는 과거에 비해 자료취득이 제한적인 상황이며, 환경관련 제도의 강화로 인해 지하자원 생

3) 「석회석 생산비와 생산규모간의 관계분석(이경한, 2004)」 등

4) 「자원환경경제학(오호성, 1990)」에 따르면 '가격=한계비용(MC)+렌트'를 명시하여 렌트=가격-한계비용임을 확인하고 있다(pp. 354).

5) 이는 평균비용 가격설정(AC pricing)이라 하는데, 주로 자연독점의 상황에서 공급자가 한계비용에 따라 가격을 책정하도록 통제할 경우 공급자는 이익을 얻지 못하게 되므로 평균비용에 따라 가격을 책정할 수 있도록 하는 규제방식을 말한다. 따라서 논의의 주제인 지하자원에 적용한다는 것이 적절하지 않을 수도 있으나 현실적인 여건, 정보의 한계 등을 이유로 이와 같은 적용을 인정할 필요가 있다고 볼 것이다.

산에 비용부담이 가중되고 있는 실정이므로 제한된 자료를 대체하고 환경 관련 제도의 비용부담을 체계화한다면 호주, 미국의 방식을 기존 대로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

## 제 3 장 지하자원의 가치추계

### (1) 가채광량 및 대상광종

앞서 언급한 바와 같이 2008SNA는 지하자원에 관해 “... 현재 기술과 상대가격에서 경제적(economically)으로 이용 가능한 확정광량(proven) 지하자원(subsoil resources)...”로 기술하고 있다.

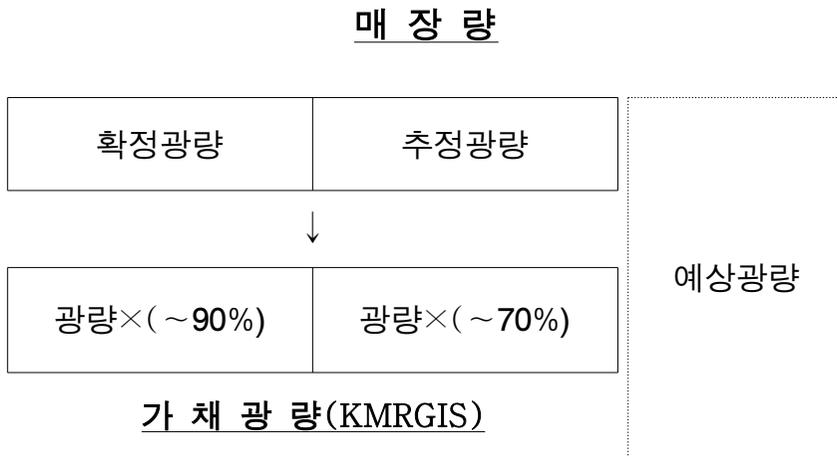


그림 1. 가채광량의 의미

그러나 비금속광을 중심으로 광업이 수행되고 있는 우리 현실을 고려하면, 확정광량을 기준으로 지하자원을 판단하기보다 가채광량을 통해 지하자원의 자산가치를 판단하는 것이 바람직<sup>6)</sup>하다. 가채광량의 범위는 위

6) 이는 비금속광 중심의 우리나라 현실 측면, 그리고 자료이용의 편의성 측면을 고려한 의

의 그림을 통해 설명하기로 한다.

가채광량은 ‘경제적으로 가행이 가능한 범위의 광량’이라 정의하는데, 이는 확정광량의 90%와 추정광량의 70%를 포함하여 산정하는 것으로 정하였으며, 이 산정결과가 광물자원공사의 <광물자원매장량현황>를 통해 격년간으로 발표된다.

|                                   | Discovered                      |                  |                  | Undiscovered           |                   |                |                |
|-----------------------------------|---------------------------------|------------------|------------------|------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| 미 국                               | Identified Resources (Reserves) |                  |                  | Undiscovered Resources |                   |                |                |
|                                   | Demonstrated                    |                  | Inferred         | Hypothetical           | Speculative       |                |                |
|                                   | Measured                        | Indicated        |                  |                        |                   |                |                |
| 한 국                               | 매장량 (Reserves)                  |                  |                  | Resources              |                   |                |                |
|                                   | (확정)<br>Proven                  | (추정)<br>Probable | 예상<br>(Possible) | 기대광량(Expected)         |                   |                |                |
| 사회주의국가<br>(러시아)<br>(몽 골)<br>(베트남) | A                               | B                | C <sub>1</sub>   | C <sub>2</sub>         | P <sub>1</sub>    | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
|                                   | 정밀조사                            |                  |                  | 개략조사                   |                   | 미조사            |                |
|                                   | 개발중                             |                  | 미개발              | Prospective Reserves   | Forecast Reserves |                |                |

(출처 : 광물자원공사, [매장량 산출방식 비교])

그림 2. 매장량 개념의 국가간 비교

매장량 개념을 국가별로 비교한 표를 그림 2.에 제시하였다. 2008SNA가 제안한 확정광량(proven)의 범위보다 가채광량의 범위가 큰 것으로 제시되어 있다. 상품의 품위기준에 따라 다양한 상품으로 판매될 수 있다는 미를 갖는다.

점을 고려하면 비금속광 중심의 우리 광업 및 지하자원 매장량 현황에서 가채광량을 대상으로 선정하는 것이 바람직하다.

2008SNA와 현실적인 여건을 고려해, 본 연구는 상업적 거래가 활발하고, 생산에 경제성이 있는 가채광량에 대해 자산적 가치를 측정하는 것을 대상으로 한다.

한편, 지하자원은 광종 관점에서 대상을 선정할 수 있는데, 2008SNA는 석유 및 천연가스, 석탄 등 에너지 자원과 금속, 비금속자원을 모두 대상으로 할 것을 권하고 있다. 현재 우리 여건을 고려할 때, 본 연구에서 고려할 대상 광종은 금속자원과 비금속자원에 한정하는 것이 합리적이라 판단된다. 석탄의 경우, 국가 석탄합리화 사업이 종료되었으므로 경제성을 인정하는 측면에서는 이론의 여지가 있고, 석유 및 천연가스의 경우, 국내 단일 사례가 있을 뿐이므로 추계로서 진행하기 보다는 실제 사업에 소요된 비용을 적용해 가치를 산정하는 것이 더욱 합리적일 것이다. 아울러, 금속의 연/아연, 철, 그리고 비금속의 석회석, 규사·규석, 고령토, 납석, 운모, 장석 이 9종이 매장량 기준 및 잠재가치(광물공사:매장량×단위가격) 기준으로 국내 지하자원 99%를 차지하므로 이와 같은 대표광종을 선정하는 것이 합리적일 것이다.

## (2) 지하자원의 가치추계 구조

우리나라의 지하자원 가치추계 구조는 앞서 언급한 호주 및 미국 방식을 채택하였다. 이는 기존의 방식과 동일한 구조이며, 호주 및 미국 방식이 가진 장점이 현재 우리 여건에서 더욱 필요한 특징이라 판단하였기 때문이다.

따라서 본 연구의 지하자원 가치추계 구조는 단위 생산량의 가치와 단

위 생산의 비용을 비교하여 양의 가치를 갖는 부분에 대해 집계하는 형태를 갖는다. 단위 생산량의 가치는 단위 생산량과 단위 가격의 곱으로 표시할 수 있으므로 생산된 광산 산출물의 품질과 가격을 조정하여 도출할 수 있다.

한편 단위 생산비용은 직접적으로 단위량 당 생산비용을 도출할 수 없다. 이는 개별 광산의 생산여건이 각각 상이할 가능성이 높기 때문이며, 이로 인해 같은 제품을 산출하더라도 개별 비용은 상이할 수 있다. 따라서 비용의 산출은 광산을 기준으로 하되, 광종별 특성을 고려하여 광종 구분을 선행하고 광산별 특성에 따른 비용산출을 진행한다.

금속광, 비금속광을 의미하는 일반광의 경우 비용구조는 동일한 형태를 갖는다. 이는 지면에서 광물을 분리하는 채광, 분리한 광물을 제품으로 만들기 위해 이송하는 운반(상차 포함) 그리고 운반해온 광물을 제품으로 만드는 파쇄의 공정이 동일한 구조를 갖는 것을 의미한다.

표 2. 광물별 경도

| 광종     | 경도    | 비중        | 기준품위    | 비고   |
|--------|-------|-----------|---------|--|
| 규사, 규석 | 7     | 2.6       | 95~99.5 | SiO <sub>2</sub>   |
| 장석     | 6~7   | 2.55~2.76 | 83<     | SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  |
| 석회석    | 3>=   | 3.4       | 48<     | CaCO <sub>3</sub>  |
| 운모     | 2.5~4 | 2.75~3.2  |         | (K,Na,Ca) <sub>2</sub> (Fe,Mg,Al,Mn,Fe,Ti) <sub>4~6</sub> (Si,Al) <sub>8</sub> (OH,F) <sub>4</sub> |
| 고령토    | 2-2.5 | 2.6       | 75~85   | SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  |
| 납석     | 1~2   | 2.8~2.9   | 76.1~95 | SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  |
| 활석     | 1~1.5 | 2.7~2.7   | 88~90   | MgO, SiO <sub>2</sub> , Ca silicate  |

한편 광종별 특성이 드러나는 공정은 광물을 분리하는 채광과 제품을

만드는 파쇄 공정이다. 이는 광물이 갖는 물리적 특성과 판매를 위한 제품특성의 차이에 기인한다. 물리적 특성이 무른 광종의 광물을 지면으로부터 분리하는 과정에는 상대적으로 많은 힘이 필요로 하지 않으므로 화약의 사용이 필요 없거나 적은 양이 요구된다. 반면 경도가 높은 광물의 경우 채광단계에서 상대적으로 많은 양의 화약이 요구될 수 있으며, 이와 같은 특성은 채광단계에서 광종을 구분하는 구분자가 된다.

제품을 만들기 위한 파쇄공정의 경우, 거래를 위해 제품이 갖춰야할 요건에 따라 광종구분이 가능하다. 이는 주로 금속광과 비금속광을 구분할 수 있는데, 비금속광은 대부분 입도(크기) 조정의 과정이며, 품위 조정이 상대적으로 어렵지 않은 반면 금속광은 품위를 맞추기 위해 추가적인 입도조정 과정이 요구된다. 금속광의 파쇄공정은 고품질의 비금속광 생산과정에서도 요구되는데, 이와 같은 비금속광은 주로 갱내채광을 통해 생산한다. 갱내채광의 장점인 선별채광을 통해 고품위의 광채를 선별적으로 생산하고 고품질의 상품을 만들어 고가로 판매하기 위해 밀링공정(분쇄, mill process)을 시행한다. 따라서 금속광 혹은 갱내 비금속광의 경우 밀링공정이 추가되며, 노천 비금속광에 비해 추가적인 비용사유가 된다.

이와 같은 사항을 간단히 요약하면, 상차 및 운반 공정은 채광량과 파쇄량에 따라 결정되며, 채광량은 파쇄능력에 따라 결정된다. 다만 이 때 파쇄능력은 개별 광산의 시장점유력에 따라 결정되므로 현재 실제 시장여건을 반영할 필요가 있다. 본 연구의 추계에서는 1차 파쇄장비를 운영하는 데에 실제 가행광산의 현실을 반영하여 설정하였다. 그러므로 비용추정의 과정은 파쇄량을 결정하고, 이에 따라 채광하며, 상차 및 운반작업이 종속되는 것으로 구조화 하였다.

상기 비용구조는 개별광산별로 적용하는 형태를 제안한다. 이는 경제

성 없는 매장량을 보유한 광산을 추계에서 배제함으로써 2008SNA가 권고하고 있는 “경제적으로(economically) 이용가능한”의 의미를 따르는 것이라 할 수 있다. 또한 현재 국내 주로 활용되고 있는 장비들을 이용하여 가장 비용효율적인 생산을 선택하도록 최적화 과정을 도입하므로써 현실적인 여건이 반영된 이윤극대화 생산과정을 상정하였다 할 수 있다.

광물자원의 자산가치를 추계함에 있어서 생산비용의 구조는 채광과 선광으로 크게 나눌 수 있으며, 각각 발파와 상차 및 운반, 그리고 조쇄로 나눌 수 있다. 시산에서는 이에 소요되는 주요 장비 및 그 운영비를 중심으로 생산비용을 산정할 것인데, 이는 대한광업진흥공사의 광산평가조서 중 15개 표본에 따를 경우 전체 광업에 소요되는 비용 중 약 85%를 차지한다. 따라서, 시산에서는 추정된 생산비용을 전체 생산 비용의 80%로 받아들이며, 이는 시간에 따른 환경비용의 상승 등을 고려한 것이다.

## 1. 비용요소

### (1) 채광법의 선택

비용요소를 파악하기에 앞서 비용체계에 결정적인 영향을 줄 수 있는 채광법의 선택에 관해 언급하기로 한다.

자원의 효율적인 이용을 위해서는 채광법의 선택이 매우 중요하다. 효율적인 개발을 위해서는 안전성과 능률성 및 경제성 등을 만족시킬 수 있는 채광법이 선택되어야 하는데, 이를 위해서 광산의 형태, 규모, 경사, 광석의 물리적 성질, 광석의 품위, 분포상태, 상하반과 표토의 성질 등이

사전에 검토되어야 한다. 이와 같은 사전 검토 결과에 따라 채광법을 선택하게 되는데, 채광법은 크게 노천채광법과 갱내채광법으로 나눌 수 있으며, 노천채광법을 선택하는 적용조건은 광체가 지표 가까이 부존되어 있어야 한다는 것이 가장 큰 요건이다. 갱내채광법의 경우 표층제거가 불가능하거나, 지하 심부에 위치한 소량 광체의 생산인 경우에 적용된다. 또한 노천채광을 할 것인지 갱내채굴을 할 것인지 결정되었다면, 각 채광법에 있어서 적합한 세부 방법을 선택해야 한다. 예를 들어 노천채광의 경우에 있어서 운송로의 확보가 용이하며 표고가 높지 않다면 계단식채광법을, 표고가 높고 운송로 확보가 용이 하지 않다면 노천 항정채광법을 선택할 수 있다.

갱내채광법의 경우 세부 방법의 선택에 더 많은 사항을 고려해야 하는데, 광석의 강도 등의 자연적 사항, 지표침하 등의 환경적 사항, 기계화의 난이도 등의 기술적 사항 등을 고려하여 선택해야 한다. 특히 갱내채광법 활용의 경우에는 채광에 따라 발생하는 공동의 크기가 주위의 암석 또는 모암의 강도로 충분히 지탱할 수 있는 범위이어야 한다. 채광 중에 형성되는 공동이 자립하지 못할 때는 지보나 충전에 의한 채광법을 선정하여야 하며 자립하는 경우에도 주위의 암석이나 광석의 강도에 따라 공동의 확대 범위가 자연히 제한되어 일정간격으로 일정한 크기의 잔주를 남겨두어야 한다. 따라서 광주의 크기, 간격은 광석 및 모암의 강도에 따라 좌우되므로 이들 강도는 채광법 선택에 있어 가장 중요한 요인 중의 하나이다.

## (2) 채광의 방법

채광의 방법은 크게 노천채광과 갱내채광으로 나누어 볼 수 있다. 노

천채광은 지표면의 표토를 제거하고 주작업인 채굴작업이 이루어지는 방식을 말하며, 갱내채광은 갱도를 굴진하여 갱내에서 채굴하는 작업방식을 말한다. 노천채굴에서는 광상을 덮고 있는 표토나 필요 없는 암석층을 벗겨내고 채굴된 광석을 운반해야 하며, 갱내채굴에서는 개갱작업, 갱도굴진, 채굴된 광석운반, 신선한 공기공급과 유해성 또는 가연성 가스를 배제하는 통풍, 갱 안에서 솟아나는 지하수의 배출, 갱도나 채광현장 붕괴를 막기 위한 보강 등이 필요하다.

노천채광으로 주로 이용되는 대표적인 방식은 계단식 채굴법과 노천항정법이 있다. 계단식 채굴법(Bench Cut Method)은 광체의 표토를 제거한 후 산 정상부위로부터 벤치(bench) 폭, 높이, 운광로 등을 고려하고, 순차적으로 하부로 계단 모양으로 채굴해 가는 방법이다. 석회석 광산의 대부분이 이 방식을 이용하고 있는데, 공정이 간단하고, 초기투자 비용이 적고, 대량생산이 가능하며, 선택채굴을 통한 품질관리가 용이하고 안전성이 높다는 장점이 있다. 단점으로는 표토처리의 문제, 대형장비 사용으로 인한 숙련공 양성 필요, 시각적인 자연훼손(visual impact)의 문제 등이 있다.

상대적으로 채굴장의 노출이 적어 시각적인 자연훼손의 문제가 적은 노천항정법은 광체의 경사가 급하고 높을 경우(약 400m 이상) 적용되는 방법으로 운반도로의 개설에 곤란이 있어 수직갱도 및 수평갱도를 굴착하여 정상에서 갱도를 통해 낙하시켜 운반하는 방법이다. 따라서 시각적인 자연훼손의 문제가 적을 뿐 아니라 운반상의 동력이 절감된다는 장점이 있다. 그러나 갱도굴착에 따른 준비기간과 초기투자 비용이 많이 소요되고 광맥 집중도가 높은 대형광산으로서 석회석 품위가 일정하여야 적용이 가능하다는 단점도 있다.<sup>7)</sup>

표 3. 채광법 선정요인별 적합성

| 선정요인<br>채광법 | 경제성요인 |     |     | 난이도요인 |     |      | 환경적요인 |      |
|-------------|-------|-----|-----|-------|-----|------|-------|------|
|             | 생산성   | 채굴비 | 채수율 | 작업성   | 기계성 | 집약채굴 | 갱내환경  | 지표침하 |
| 주방식         | ◎     | ◎   | △   | ◎     | ◎   | ◎    | ◎     | ◎    |
| 중단봉락        | ○     | ○   | ○   | ○     | ○   | ◎    | ○     | △    |
| 장벽식         | △     | △   | ◎   | ○     | ○   | ○    | ◎     | ○    |

한편, 갱내채광의 방식으로는 더욱 다양한 방식이 있는데, 주방식 채광법, 중단봉락법, 장벽식채탄법이 대표적이라 할 수 있다.

주방식채광법(room and pillar mining method)은 광체의 주향방향 또는 경사방향으로 채굴작업을 진행하면서 장방형 또는 정방형의 잔주(pillar)를 규칙적으로 남겨 상반을 지지하는 방법이다. 금속, 비금속광에서 보다 석탄광에서 주로 채택하며 15°이내의 완경사광체에 적용하는 것이 적절하다. 통기가 양호한 반면에 채광의 실수율이 낮다는 단점이 있다. 이와 유사한 잔주식채굴법(stope and pillar mining method)이 있는데, 주방식채광법과 달리 잔주의 형태, 배열이 불규칙하며 저품위 혹은 폐석부를 선택적으로 잔주로 남기며, 주로 석탄 이외의 광물을 채광대상으로 한다. 비교적 견고한 광석의 갱내채굴법 중 가장 광범위하게 채택되는 채광법이다.

7) 한국자원연구소, “노천광의 훼손면적 최소화 및 복구 대책 연구”(1998) p 14.

중단붕락법(sub-level caving mining method)은 45°이상의 급경사 광상으로 상하반이 비교적 연약하고 균열이 있어 붕락하기 쉽고 붕락시 중~대피로 파쇄되며 폐석혼입이 적은 경우에 적합한 방법이다.

장벽식채탄법(longwall mining method)는 석탄의 채굴법 중 갱도채굴로는 세계적으로 가장 광범위하게 채택되는 채굴법이다. 생산성면에서 주방식채탄법에 비해 5~10배 정도 우수하나 투자비가 크고 몇 가지 여건이 부합해야 적용할 수 있어 광황조사와 경제성 검토가 충분히 선행되어야 한다. 이 방식을 적용하기위한 요건으로는, 대상 광체가 석탄, 석고, 암염 등의 연약한 광물이어야 하며, 지질변화나 가스발생이 심하지 않아야 한다.

언급한 3가지 방식을 채광법 선정요인 관점에서 비교하면 위 표와 같다.<sup>8)</sup> 각각의 방식은 장점과 단점을 갖고 있으므로 장점을 잘 살리고 단점을 최소화할 수 있는 방식을 선택하여 채굴하는 것이 효과적이다.

### (3) 광산의 비용요소

지하자원 가치추계의 선행사례는 해외 사례를 확인할 수 있으나 생산비용은 그 방법을 명확히 밝히고 있지 않다.

이외 관련 사례로 볼 수 있는 것이 대부분 사업자의 관점에서 광산 경영으로 이윤 극대화를 이룰 수 있겠는가를 추정해보는 광산의 경제성 평가이다. 우리나라의 경우에 있어서 이와 같은 광산의 경제성 평가는 한국 광물자원공사의 ‘광산평가조서’를 통해 개략적으로 확인할 수 있다.

---

8) 대한광업진흥공사, “대규모 비금속 광체의 갱내 채광 System 연구”(1993) p87참조

표 4. 생산비의 항목과 내역 사례

| 항목       | 비목  | 내역   |                                   |
|----------|---|--|-----------------------------------|
| 동력비      | 노임<br>유류/전력비<br>기타  | 전기공<br>경유<br>기타  | 기타<br>전력비                         |
| 채광비      | 노임<br><br>화약류<br><br>철재<br>산림훼손복구<br>탐광 및 표토<br>임대료<br>기타                   | 감독<br>착압공<br>화약공<br>ANFO<br>G/D<br>장비부품 등<br>일정금액/생산량(톤) | 중기운전<br>기계정비공<br>보조<br>전기뇌관<br>기타 |
| 가공비      | 노임<br><br>자재소모품비<br>기타  | 감독<br>파분쇄<br>선광부<br>수선부<br>철재류                           | 포장공<br>중기운전<br>분석공<br>기타<br>석탄대   |
| 일반관리, 경비 | 현장인건비<br><br>복리후생비<br>소모품비<br>제세공과금<br>여비, 교통비<br>수선유지비<br>보험료<br>기부접대 및 기타 | 소장<br>기술과<br>사무과   | 차량운전<br>기타                        |
| 판매비      | 운반비<br>포장비<br>기타  | 육로<br>톤백포장   |                                   |

광산평가조서는 광산의 권리사항, 지질 및 광상, 매장량 및 품위, 광산 평가요소 등으로 구성되어 있으며 광산의 개발 현황 및 계획을 고려하고 있다. 광산의 개발현황과 계획을 고려한다는 것은 사업자의 관점에서 시장성도 고려한 것이라 볼 수 있어 일정부분 사업의 방향을 전제로 평가가

이루어진 것이다. 따라서 간접추계에 전면 원용하기에 곤란한 면이 있으나 평가의 사례로서 활용될 가능성이 높다. 표 4.는 광산평가조서에 수록되어 있는 생산원가 추정에 고려되는 항목을 요약 정리한 것이다.

표 5. 부문별 설비 및 시설 사례

| 부문 | 시설명     | 규격                         | 단위 | 수량  |
|----|---------|----------------------------|----|-----|
| 채광 | 장공착암기   | 15M용                       | 대  | 6   |
|    | 굴삭기     | 1.1m <sup>3</sup> (브레이크포함) | 대  | 6   |
|    | 불도저     | 24톤                        | 대  | 2   |
|    | 화약장전기   | 500ℓ                       | 대  | 1   |
|    | 로우더     | 5.5m <sup>3</sup>          | 대  | 6   |
| 선광 | 조크러셔    | 900*600*100HP              | 대  | 4   |
|    | "       | 900*250*50HP               | 대  | 4   |
|    | 임팩트크러셔  | 370*1020*100HP             | 대  | 3   |
|    | 레이몬드밀   | φ50 " *100HP               | 대  | 1   |
|    | 소성로     | 50톤                        | 식  | 2   |
|    | V-스크린   | 1800*4200*40HP             | 대  | 4   |
|    | "       | 1200*2400*15HP             | 대  | 4   |
|    | 휘더      | 800*1500                   | 대  | 6   |
|    | 벨트콘베이어  | 1050mm                     | M  | 150 |
|    | "       | 800mm                      | M  | 150 |
|    | "       | 700mm                      | M  | 100 |
|    | "       | 450mm                      | M  | 150 |
|    | 바켓엘리베이터 | 550*14000*17M              | 대  | 2   |
|    | 집진시설    | 350m <sup>3</sup> /min     | 식  | 2   |
| 운반 | 덤프트럭    | 15톤                        | 대  | 2   |
|    | 지게차     | 4톤                         | 대  | 1   |
| 후생 | 목욕탕     | 50m <sup>3</sup>           | 동  | 1   |
|    | 버스      | 25인승                       | 대  | 1   |

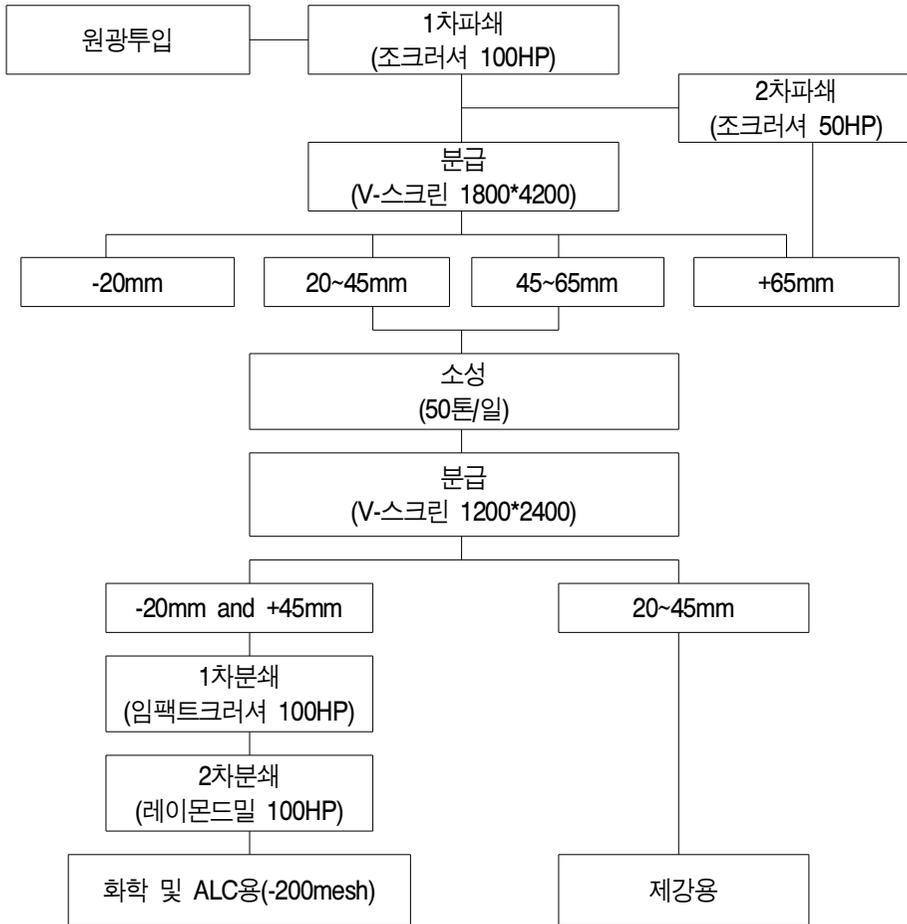
항목과 세부비목을 요약하면 위 표와 같다. 전반적으로 이와 같은 틀을 갖고 있는데, 각각의 내역에 대해 단가와 금액을 적용하여 총 생산비용을 추정한다. 그러나 지하자원 가치추계에 있어 여기에 나타나 있는 모든 항목이 고려되어야 하는 것은 아니다. 직접적으로 생산에 관련되는 비용항목은 모두 고려되어야 하지만, 판매비나 일반관리·경비에 해당되는 비목 중에는 직접관련이 된다고 보기 어려운 것들도 있다. 대체로 동력비, 채광비, 가공비의 항목은 직접관련이 있는 비용들이다. 한편, 설비투자의 예를 보면 다음과 같다.

설비투자의 결정은 채광방법, 채광량, 최종생산물의 종류 등에 따라 다르다. 최종생산물의 규격이 무엇인가에 따라 파쇄만 할 것인지, 분쇄도 할 것인지가 결정되므로 각각 해당 설비투자가 요구된다. 동력비는 설비투자의 규모에 따라서도 영향을 받게 되므로 설비투자의 규모를 확인할 필요가 있다.

광산평가조서의 예에서는 지질 및 광상의 직접적인 조사를 통해 정교한 설비투자의 요구사항을 파악할 수 있었으며, 이로 인해 더욱 엄밀한 생산원가 추정을 시행했다.

위 설비 예에 따르면 채광단계에서 요구되는 설비로 볼 때, 약 10m 가량의 천공장을 갖도록 착암기로 천공하여 화약을 장전하고 발파하여 채광하는 방식을 취한 것임을 알 수 있다. 실제로 위 채광설비는 대규모 계단식 노천채광장의 실제 장비들인데, 작업면의 규모는 폭 500M, 높이 14M 정도이며, 높이 10M 정도의 계단식 채광방식으로 운영하는 경우이다. 발파는 천공장 12m로 매 발파당 20~30공을 천공하여 공내 함수 및 초유폭약을 장전하고 전기뇌관을 이용해 일평균 1회 대규모 발파함으로써 발파당 6~7천 톤의 광석을 채광 한다. 이렇게 채광된 광석은 굴삭기로 소할되

고 대형로우더로 덤프트럭에 적재하여 선광장으로 투입된다.



(자료:한국광물자원공사, 광산평가조서 1998)

그림 3. 광산제품생산 공정도

선광작업은 파쇄-소성-분쇄의 과정을 거친다. 채광장에서 운반된 광석은 원광 호퍼(hopper)에 투입되어 1차 및 2차 조크러셔에서 파쇄되어 V-

스크린을 거쳐 일정 입도로 산출되며 이중 20mm~65mm입도의 산출물은 소성로로 운반되며 자동화 시스템에 의해 소성로에 장입되고, 약 33~35시간 동안 예열-소성-냉각과정을 거쳐 배출된다. 이 같은 과정을 공정도로 보면 다음과 같다.

아래 공정도는 광산의 제품생산에 있어서 진행되는 공정을 도식화 한 것이다. 광종은 석회석이며, 고품위광으로 시멘트용 석회석을 생산하기보다는 월등히 가격이 높은 화학 및 ALC용, 제강용 석회석을 제품으로 생산하는 경우이다.

선광의 공정은 최종제품이 무엇인가, 또 채광단계에서 어느 정도의 량이 조광으로 생산되어 선광에 투입되는가, 선광에 투입될 조광의 품위상태는 어떠한가가 구성의 주요 결정요인이 된다. 따라서 채광의 방법과 그에 따른 채광량이 결정되면, 결정된 채광량에 따라 최종제품을 생산하기 위한 선광 공정의 규모 및 설비의 구성을 파악할 수 있다. 그러나 투입될 채광량을 채광 속도에 맞춰 처리하는 것이 가장 효율적인 것은 아니다. 대규모 선광의 비용이 높은 경우 채광량을 다소 줄여 상대적으로 소규모 선광 설비를 갖추고 공정을 진행하는 것이 더욱 효율적일 수도 있으므로 최적 생산 방법을 선정하기 위해서는 채광과 선광의 양자를 모두 고려하여야 한다.

#### (4) 생산비용

생산비용은 일반적으로 고정비용과 가변비용으로 분류한다. 고정비용은 생산 활동의 착수로부터 발생하며 단기적으로는 추가적인 비용을 요구하지 않는다고 볼 수 있는 부분을 의미하며 주로 설비투자에 소요되는 비용을 말한다. 가변비용은 생산량의 변화에 따라 계속적으로 소요되는 비

용을 말하며 주로 유류, 전기, 노임 등에 소요되는 비용을 말한다. 대체로 앞에서 언급한 설비투자에 소요되는 비용을 고정비용으로 볼 수 있으며, 생산원가의 산정에 제시했던 항목과 비목으로 이루어진 표에 언급되어 있는 비용을 가변비용으로 볼 수 있다.

지하자원의 생산비용 분석은 일반적인 재화의 생산비용 분석과 다소의 차이가 있다고 볼 수도 있는데, 이는 생산량의 한계에 기인한다. 지하자원의 생산에 있어서 한 개의 광산에서 생산해 낼 수 있는 지하자원의량은 총 가채광량을 넘지 못한다. 따라서 고정비용에 해당하는 비용규모가 총 가채광량의 화폐가치보다 크다면 경제성이 없어 지하자산으로서 인정할 수 없는 것이다. 고정비용 규모보다 총 가채광량의 화폐치가 큰 경우에도 가변비용을 넘어설 수 있는 만큼의 경제성이 있어야 한다. 가변비용에 있어 상당부분은 설비투자 규모에 연계되어있으므로 어느 정도의 범위 내에서는 실제 가행되고 있는 광산이 아닌 경우에 대해서도 지하자원의 생산에 요구되는 비용을 추정해 볼 수 있다.

한편, 광석의 생산단계를 보면 앞에 언급했듯이 채광-가공(선광)으로 구성된다고 볼 수 있으며 채광과 가공의 단계는 별도의 단계이나 경제성 측면에서 서로 연계되어 있다고 볼 수 있다. 채광의 단계에서 요구되는 공정은 각 광산의 여건과 선택된 채광방법에 따라 차이가 있을 수 있으나, 대체로 천공, 발파, 소환, 운반이 공통적으로 필요한 작업이며, 갱내채광의 경우에는 필요에 따라 충전 혹은 지보 또는 비트 등의 설치가 요구되기도 한다. 기본적으로 채광단계에서는 천공장비(착암기, 드릴), 발파장비(화약장전기), 소환 및 운반 장비(굴삭기, LHD, 덤프트럭 등)가 요구되며 이들은 채광단계의 고정비용이 된다. 선광의 단계에서는 파쇄, 분급, 운반이 이루어지는데, 투입되는 광성의 상태와 최종제품이 무엇인가에 따라

소성, 분쇄 등이 더 요구될 수도 있다. 기본적으로 파쇄장비(각종 크러셔), 분급장비(각종 스크린)가 있어야 하며 다음 공정으로 진행하기 위해 이동 및 운반 장비로서 컨베이어를 갖춘다.

채광장비든 선광장비든 장비의 규격과 용량이 다양하여 경제성 측면에서 가장효율적인 조합을 찾아 구성하는 것이 바람직하다.

## (5) 생산장비의 구성

광물자원의 생산비용은 채광, 운반, 선광의 단계의 비용으로 구성된다. 이는 광종에 관계없이 기본적으로 동일한 과정이다.

채광에 있어서는 천공기와 화약, 상차장비가, 운반에 있어서는 트럭이, 선광에 있어서는 조쇄기가 주요 생산요소이다.

이 생산요소들의 조합으로 생산하게 되는데 시산에도 산입하였다. 현재 가행되는 광산에서 대체로 빈번히 사용되고 있다고 알려져 있는 규격의 장비들을 선정하였는데, 해당 규격은 표 6.과 같다.

조쇄장비의 "G"는 자이러토리(Gyratory) 크러셔를, "J"는 죠(Jaw)크러셔를, "sC"는 콘(standard cone) 크러셔를 나타낸다.

다른 장비와 달리 조쇄장비는 용량규격 뿐 아니라 생산물 규격도 고려해야 하는데, 1차는 150~300mm, 2차는 80mm, 3차는 25mm이하를 기준으로 선정하였다. 표에서 나타난 조쇄장비의 표시는, 조쇄방식과 시간당 효율(ton) 및 대수를 나타낸 것이다. 표에 나타내지 않은 장비 및 생산요소는 천공기와 화약인데, 천공기는 일반적으로 유사한 한 가지 기종을 사용하는 것으로 알려져 있으며, 화약은 다양한 종류의 화약류가 사용되는데, 주로 안포(Anfo)가 사용되고 있다.

표 6. 비금속 광종의 장비 선정

| 상차장비(shovel)                |      |     |        | 운반장비(dump truck) |     |        |          |
|-----------------------------|------|-----|--------|------------------|-----|--------|----------|
| 4.5cuyd(3.4m <sup>3</sup> ) |      |     |        | 25ton-18cuyd     |     |        |          |
| 7.5cuyd(5.7m <sup>3</sup> ) |      |     |        | 40ton-29cuyd     |     |        |          |
| 9.2cuyd(7m <sup>3</sup> )   |      |     |        | 65ton-39cuyd     |     |        |          |
| 16cuyd(12.2m <sup>3</sup> ) |      |     |        | 85ton-67cuyd     |     |        |          |
| 조쇄장비(crusher)               |      |     |        |                  |     |        |          |
| 1차(조쇄)                      |      |     | 2차(중쇄) |                  |     | 3차(분쇄) |          |
| G                           | 1800 | × 1 | G      | 600              | × 3 | sC     | 215 × 9  |
| G                           | 1300 | × 1 | J      | 270              | × 5 | sC     | 130 × 10 |
| G                           | 1000 | × 1 | J      | 270              | × 4 | sC     | 130 × 8  |
| J                           | 600  | × 1 | J      | 200              | × 3 | sC     | 100 × 6  |
| J                           | 300  | × 1 | J      | 107              | × 3 | sC     | 100 × 3  |

표 7. 금속 광종의 장비 선정

| 상차장비(shovel)                |     |     |        | 운반장비(dump truck) |     |        |         |
|-----------------------------|-----|-----|--------|------------------|-----|--------|---------|
| 3cuyd(2.4m <sup>3</sup> )   |     |     |        | 20ton-15cuyd     |     |        |         |
| 4.5cuyd(3.4m <sup>3</sup> ) |     |     |        | 25ton-18cuyd     |     |        |         |
| 7.5cuyd(5.7m <sup>3</sup> ) |     |     |        | 40ton-29cuyd     |     |        |         |
| 9.2cuyd(7m <sup>3</sup> )   |     |     |        | 65ton-39cuyd     |     |        |         |
| 조쇄장비(crusher)               |     |     |        |                  |     |        |         |
| 1차(조쇄)                      |     |     | 2차(중쇄) |                  |     | 3차(분쇄) |         |
| J                           | 300 | × 1 | J      | 107              | × 3 | sC     | 100 × 3 |
| J                           | 200 | × 1 |        |                  |     |        |         |
| J                           | 100 | × 1 |        |                  |     |        |         |
| 분쇄장비(mill)                  |     |     |        |                  |     |        |         |
| Ball mill                   |     |     | B      | 600              | × 1 |        |         |
| Rod mill                    |     |     | R      | 200              | × 3 |        |         |

금속광종의 경우 비금속광종에 비해 더 많은 절차가 요구되는데, 이는 금속을 선별해 내기위해 더욱 작은 크기로의 분쇄가 요구되기 때문이다. 이에 따라 생산에 요구되는 시간도 더욱 많이 소요된다. 금속광종 분쇄장비의 선정은 국내 금속광산의 광산설비 자료를 참조하였다.<sup>9)</sup>

국내의 금속광종은 광상의 규모가 크지 않아 비금속광종에 비해 작은 설비와 장비가 요구되며, 이를 반영하여 비금속광종에 사용된 최대규모 장비를 제외하고 최소규모 장비를 추가하였다.

장비의 사용에는 장비의 가격과 장비의 유지 및 보수비, 장비사용에 따른 연료비 등이 산입되어야 하며, 화약류비용과 인건비도 포함되어야 한다. 장비 사용에 따른 직접적, 간접적 비용은 ‘Western Mine Engineering’社에서 매년 출간하는 ‘Mine and Mill Equipment Costs’의 자료를 활용하였다. 이 자료는 광산에 사용되는 대부분의 장비를 평균적인 규격수준과 해당 규격의 평균적인 가격수준을 조사한 자료로서, 해당 규격의 해당 장비에 대한 가격, 시간당 능력, 시간당 연료소요량, 유지 및 보수비용 등이 조사되어 있다.

## (6) 화약 및 천공장비의 비용

화약과 천공장비의 비용은 기존의 추계방식에서 매우 중요한 역할을 하였다. 화약사용량과 생산량 간의 관계를 통해 광종별 특수성을 부여하는 지표로 사용되었는데, 개정 광업법령에 따라 화약사용량을 파악할 수 없게 되었다. 이에 본 연구는 2001년부터 2010년까지의 광종별 화약 및 천공장비비용의 비중을 평균하여 산입하는 방식으로 진행하였다.

---

9) 과학기술처, 한국자원연구소 <금속광개발기술연구(1991)>

표 8. 금속광의 화약 및 천공장비 비용 비중

|      | 금, 은  | 아연    | 연     | 철(티탄철) |
|------|-------|-------|-------|--------|
| 2001 | 0.038 | 0.020 | 0.026 | 0.067  |
| 2002 | 0.040 | 0.021 | 0.024 | 0.076  |
| 2003 | 0.046 | 0.026 | 0.033 | 0.079  |
| 2004 | 0.046 | 0.025 | 0.032 | 0.082  |
| 2005 | 0.049 | 0.041 | 0.029 | 0.075  |
| 2006 | 0.065 | 0.069 | 0.055 | 0.070  |
| 2007 | 0.031 | 0.014 | 0.013 | 0.066  |
| 2008 | 0.037 | 0.016 | 0.020 | 0.075  |
| 2009 | 0.039 | 0.028 | 0.026 | 0.062  |
| 2010 | 0.060 | 0.061 | 0.062 | 0.057  |
| avg  | 0.045 | 0.032 | 0.032 | 0.071  |

여기서 설명하는 화약 및 천공장비 비용의 비중은 총비용에서의 비중이 아니라 구체적으로 추계하는 비용에 대한 비중을 의미한다. 추계과정에서 모든 공정에 소요되는 모든 비용요소를 구축하여 비용을 추계하는 것은 현실적으로 매우 곤란하기 때문에 예상할 수 있는 비용요소에 대해 비용을 추정하며, 이는 전체 비용의 80%에 해당됨을 기존의 연구를 통해 확인하였다. 따라서 예상할 수 있는 비용요소에 대해 추정한 비용의 125%가 총비용이며, 예상할 수 있는 비용요소에 대한 비용추정 결과값의 4.5%, 3.2%, 7.1%가 금·은, 연·아연, 철의 생산에 소요되는 화약 및 천공장비 비용 비중이라는 것이다.

결과적으로 화약 및 천공장비비용을 제외한 비용요소를 추계한 후, 화약 및 천공장비비용 비중을 반영하여 총비용을 도출할 수 있다.

표 9. 비금속광의 화약 및 천공장비 비용 비중

|      | 고령토   | 규석    | 납석    | 석회석   | 운모    | 장석    | 활석    |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2001 | 0.112 | 0.053 | 0.059 | 0.106 | 0.022 | 0.283 | 0.044 |
| 2002 | 0.092 | 0.081 | 0.068 | 0.103 | 0.022 | 0.228 | 0.039 |
| 2003 | 0.059 | 0.081 | 0.067 | 0.108 | 0.019 | 0.179 | 0.030 |
| 2004 | 0.045 | 0.081 | 0.076 | 0.109 | 0.042 | 0.073 | 0.024 |
| 2005 | 0.045 | 0.085 | 0.068 | 0.111 | 0.044 | 0.107 | 0.022 |
| 2006 | 0.038 | 0.085 | 0.061 | 0.108 | 0.035 | 0.104 | 0.023 |
| 2007 | 0.031 | 0.063 | 0.066 | 0.107 | 0.040 | 0.102 | 0.021 |
| 2008 | 0.038 | 0.070 | 0.080 | 0.101 | 0.065 | 0.127 | 0.028 |
| 2009 | 0.037 | 0.064 | 0.061 | 0.093 | 0.034 | 0.053 | 0.026 |
| 2010 | 0.039 | 0.062 | 0.066 | 0.096 | 0.027 | 0.037 | 0.027 |
| avg  | 0.054 | 0.073 | 0.067 | 0.104 | 0.035 | 0.129 | 0.028 |

이 화약 및 천공장비 비용 비중은 금속광의 경우 갱내채광을, 비금속광의 경우 노천채광을 가정하여 산출한 값이므로 비금속광의 갱내채광 상황에서는 다소 간 차이를 보인다. 따라서 비금속광의 갱내채광 상황에 대해서는 노천채광용 천공장비 비용과 갱내채광용 천공장비 비용의 비율을 이용해 조정하여 적용하도록 하였다.

## 2. 비금속광의 갱내채광 비용

### (1) 비금속광의 노천채광과 갱내채광

비금속광의 경우 1990년대 말, 2000년대 초까지 노천채광 중심의 생산

활동을 주로 하였으나, 사회의 환경에 대한 관심, 고품위 산업원료 광물 수요증가, 탐사기술의 발전 등 여건변화에 따라 점차 갱내채광의 생산활동이 증가하게 되었다.

최근 10년간의 비금속광 갱내 현황추이를 표 10.~표 12.에 제시하였다. 갱내채광 실적이 있는 비금속광은 석회석, 규석·규사, 납석에 한하며, 2013년에 가장 많은 갱내광산 비율을 보인 납석을 제외하고는 대체로 갱내광산 비율이 증가를 보인다. 석회석광의 경우, 1인당 생산량이 현저히 적은 갱내채광 광산이 증가하더라도 평균 1인당 생산량은 시간의 진행에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 규석·규사, 납석의 경우는 갱내채광 광산의 증감과 1인당 생산량의 관계는 명확하게 나타나지 않는 추이를 보인다. 결론적으로 비금속광의 갱내채광 광산 수 증가가 1인당 생산량 추이를 잘 설명하지 못한다고 할 수 있다.

표 10. 석회석 광산의 갱내 현황

|      | 석회석 |            |                |          |
|------|-----|------------|----------------|----------|
|      | 광산수 | 갱내광산<br>비율 | 현장노무 중<br>갱내비율 | 1인당생산량   |
| 2008 | 107 | 40.19%     | 19.29%         | 37,151.8 |
| 2009 | 113 | 38.05%     | 20.03%         | 35,925.4 |
| 2010 | 108 | 39.81%     | 21.08%         | 35,713.7 |
| 2011 | 109 | 41.28%     | 23.57%         | 35,773.1 |
| 2012 | 106 | 43.40%     | 23.60%         | 35,893.9 |
| 2013 | 102 | 41.18%     | 24.75%         | 37,078.6 |
| 2014 | 103 | 45.63%     | 26.19%         | 36,790.5 |
| 2015 | 105 | 44.76%     | 26.51%         | 38,300.3 |
| 2016 | 108 | 45.37%     | 25.55%         | 38,074.3 |
| 2017 | 100 | 51.00%     | 27.85%         | 39,487.2 |

표 11. 규사·규석 광산의 갱내 현황

|      | 규사, 규석 |            |                |          |
|------|--------|------------|----------------|----------|
|      | 광산수    | 갱내광산<br>비율 | 현장노무 중<br>갱내비율 | 1인당생산량   |
| 2008 | 50     | 6.00%      | 9.47%          | 37,151.8 |
| 2009 | 43     | 9.30%      | 10.00%         | 35,925.4 |
| 2010 | 38     | 7.89%      | 6.29%          | 35,713.7 |
| 2011 | 43     | 6.98%      | 7.10%          | 35,773.1 |
| 2012 | 41     | 12.20%     | 13.07%         | 35,893.9 |
| 2013 | 44     | 11.36%     | 13.95%         | 37,078.6 |
| 2014 | 41     | 9.76%      | 14.12%         | 36,790.5 |
| 2015 | 36     | 8.33%      | 15.10%         | 38,300.3 |
| 2016 | 43     | 9.30%      | 17.41%         | 38,074.3 |
| 2017 | 46     | 19.57%     | 30.81%         | 39,487.2 |

표 12. 납석 광산의 갱내 현황

|      | 납석  |            |                |          |
|------|-----|------------|----------------|----------|
|      | 광산수 | 갱내광산<br>비율 | 현장노무 중<br>갱내비율 | 1인당생산량   |
| 2008 | 18  | 5.56%      | 7.50%          | 37,151.8 |
| 2009 | 16  | 6.25%      | 9.09%          | 35,925.4 |
| 2010 | 17  | 11.76%     | 10.96%         | 35,713.7 |
| 2011 | 16  | 12.50%     | 12.31%         | 35,773.1 |
| 2012 | 15  | 13.33%     | 12.31%         | 35,893.9 |
| 2013 | 23  | 17.39%     | 14.46%         | 37,078.6 |
| 2014 | 21  | 14.29%     | 11.84%         | 36,790.5 |
| 2015 | 22  | 13.64%     | 13.51%         | 38,300.3 |
| 2016 | 19  | 10.53%     | 15.63%         | 38,074.3 |
| 2017 | 17  | 11.76%     | 14.93%         | 39,487.2 |

한편 비금속광의 갱내채광 광산수의 변화는 광종별 1인당 생산량이 아닌 총생산량에 유의한 관계를 보이는 것으로 나타났는데, 이는 패널분석 형태의 실증분석을 통해 확인할 수 있다. 분석은 총고용량(tl), 평균가격(aprice), 갱내광산 수(under)를 설명변수로 하여 총생산량(tq)이 종속변수인 경우와 1인당 생산량(pcq)이 종속변수인 경우에 대해 실시하였다.

## 제 4 장    현재가치화 방법

### (1) 가치평가

지하자원의 가치를 평가하는 것은 광산을 직접 개발하는 사업을 담당하는 광업상류부문이 특정 광산의 사업성을 평가하는 데에서 주로 활용되어 왔다. 가치평가는 현재까지의 정보를 활용해 사업의 종기까지 얻을 수 있는 수익과 요구되는 투자를 모두 동일시점의 가치로 전환 및 추정하여 서로를 비교함으로써 이루어진다. 비단 광산의 지하자원 가치 평가 뿐 아니라 다양한 분야에서 활용되는 가치평가기법이 대부분 현재가치법에 기반을 두고 응용 및 활용되고 있다.

지하자원의 가치를 평가하는 기법으로는 다양한 분야에 기본적으로 활용되는 현재가치법과 투자의 관점에서 광산의 경제성을 평가하는 전통적인 방법인 호스콜드법(Hoskold's Formula) 및 그 대안 기법 등이 있다.

현재가치법은 정태적 효율성의 개념에 시간의 흐름을 고려한 것으로서 일정한 기간동안 발생하는 가치를 기준시점에서 판단할 수 있는 값으로 나타내는 것이다.

현재로부터  $n$ 년이 지난 후에 받게 될 순편익( $NB_n$ )은 그때의 총편익( $B_n$ )에서 총비용( $C_n$ )을 뺀 값으로 이를 현재가치로 나타내면 다음과 같다.

$$PV[NB_n] = \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} = \frac{NB_n}{(1+r)^n}$$

현재로부터 n 년간 순편익의 흐름이 {NB1, NB2, ..., NBn}이라면 이러한 순편익의 흐름의 현재가치는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$PV[NB_1, NB_2, \dots, NB_n] = \sum_{i=1}^n \frac{NB_i}{(1+r)^i}$$

이때, r은 미래의 가치를 현재가치로 환산하는 할인율이다.

정태적 효율성은 순편익이 극대화되도록 자원을 여러 용도에 배분함으로써 얻어진다. 마찬가지로 n기에 걸친 자원의 사용으로부터 얻게 되는 순편익의 흐름의 현재가치인 PV[NB1, NB2, ..., NBn]가 극대화되도록 자원을 각 기에 배분함으로써 시점 간 효율성이 달성된다.

(b) 기업목적의 광산 경제성 평가기법<sup>10)</sup>

① 호스콜드법(Hoskold's Formula)

호스콜드법은 다음과 같은 4가지 가정을 전제로 활용된다.

- i) 년 수익은 매년 일정
- ii) 년 수익은 투자에 대한 보수(return)인 배당금과 투자회수를 위한 적립금으로 구성
- iii) 자본에 대한 수익률(배당율, 위험율)은 일정
- iv) 투자자본은 안전율로 축적된 적립금을 통해 투자수명 종료 후 회수

10) 조용성, “광업투자의 경제성평가에 관한 고찰”(1987), 서울대학교 공학석사학위논문

이는 투자에 뒤따르는 매년의 일정한 수익이 투자에 대한 위험의 보상으로서 투자자본에 대하여 위험율(risk rate)로 지불되는 일정금액의 배당금과 투자수명 종료 후 초기투자액과 동일한 금액을 상환하기 위한 안전율(safe rate)로 축적되는 적립금으로 구성된다는 특징을 갖는다. 호스콜드법에서 위험율과 안전율은 서로 다르며, 안전율은 투자에 대한 안전을 보장하기 위해 은행 등과 같이 위험부담이 거의 없는 안전한 기관에 적립한다는 개념에서 낮은 이율을 적용하는 반면, 위험율은 투자자에게 광업의 높은 본질적 위험을 보상하기 위해 비교적 높은 이율을 적용하는 이원적인 이율방식을 취하고 있다.

- Vp : 현재가치
- Ir : 자본투자에 대한 투기율, 위험율
- Is : 자본회수를 위한 안전율
- A : 연금, 년 수익
- n : 수명

이라 할 때, 투자초기 년도에 Vp의 자본을 투자하여 n년 간 매년 일정한 연금 A를 받게 된다면, Vp라는 자본에 축적된 가치가 미래에 연금 A의 흐름으로 나타나는 셈이며, 마찬가지로 미래의 연금 A의 흐름을 현재 가치로 환산하면 Vp로 평가할 수 있다. 이때, 이익배당금은 (Vp×Ir)로서 투자에 대한 보수가 되며, 따라서 적립금은 (A-Vp×Ir)이 된다. 이 적립금은 Is의 안전율로 매년 축적되어 투자수명 종료 시 투자액과 동일한 액수를 상환해야 하는데, 매년 Is의 안전율로 축적되는 적립금의 증가(투자수명 종료시점에서의 가치)는,

$$(\text{적립금 증가}) = S \times \frac{(1 + /s)^n - 1}{/s} = Vp$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $S = (A - Vp \times Ir)$ 이므로 위 식에 대입하여  $Vp$ 에 관해 정리하면,

$$Vp = A \times \frac{1}{Ir + \frac{/s}{(1 + /s)^n - 1}}$$

의 호스콜드법의 식이 유도된다.

이 호스콜드법은 19세기 말엽 발표된 이래 현재까지도 폭넓게 이용되고 있는데, 일부의 학자들에 의해 단점을 보완하려는 노력이 있어 좀더 발전된 형태의 방법이 제시되곤 했으나, 근본적 개념에서는 크게 벗어나지 않아 여전히 호스콜드법의 활용이 높은 상태이다.

## ② 오도나휴법(O'Donahue's Formula)

호스콜드는 광산개발의 초기단계에 대해 아무런 수익이 없는 기업기간이므로 영업기간 초기시점에서 평가한 광산평가액을 위험율로 할인한 것을 광산평가액으로 삼아야 한다고 하여

$$V_p = A \times \frac{1_r}{r + \frac{I_s_r}{(1 + I_s)^{n_r} - 1_r}} \times \frac{1_r}{(1 + I_r)^{m_r}}$$

이와 같은 식을 제안했다.

이에 대해 오도나휴는 기업기간 중에 그와 같은 높은 위험율이 적용되므로 호스콜드법은 광산의 가치를 저평가하는 것이라고 지적하여 기업기간  $m$ 과 영업기간  $n$ 을 분리하여 상환기금은 기업기간에는 축적하지 않고 영업기간에만 축적하며, 투자에 대한 배당이익( $V_p \cdot I_r$ )은 그것을 낮은 안전율( $I_s$ )로 축적하였다가 영업기간에 동시에 배당하도록 하였다. 이는 다음과 같이 표현되며,

$$V_p + V_p \times I_r \times \frac{(1 + I_s)^{m+n_r} - 1_r}{I_s_r}$$

년 수익  $A$ 의 증가와 같으므로,

$$V_p + V_p \times I_r \times \frac{(1 + I_s)^{m+n_r} - 1_r}{I_s_r} = A \times \frac{(1 + I_s)^{n_r} - 1_r}{I_s_r}$$

이고, 이를  $V_p$ 에 관해 정리하면,

$$Vp = A \times \frac{\frac{(1 + /s)^{n_r} - 1_r}{/s_r}}{1 + /r \times \frac{(1 + /s)^{m+n_r} - 1_r}{/s_r}}$$

의 오도나휴법의 식이 도출된다.

위 호스콜드의 식을 이와 같은 모양으로 변환하면,

$$Vp = A \times \frac{\frac{(1 + /s)^{n_r} - 1_r}{/s_r}}{1 + /r \times \frac{(1 + /s)^{n_r} - 1_r}{/s_r}} \times \frac{1_r}{(1 + /r)^{m_r}}$$

이 되어 양자를 비교할 수 있는데, 두 식에 의한 평가결과는 호스콜드법을 이용한 평가액이 낮고, 기업기간이 길수록 그 차이는 확대된다.

### ③ 현재가치법과 호스콜드법의 장단점

현재가치법과 호스콜드법은 양자 모두 시간의 흐름을 고려하므로 일정한 기준시점에서 장래에 실현될 가치를 평가하는 기법이라는 점에서 유사하다. 또한 결과적으로 두 방법은 평가의 대상에 대해 궁극적으로 어느 정도 크기의 경제적 가치를 얻게 하는가에 대한 정보를 줄 뿐 다양한 대안에 있어서의 선택에는 수익률을 고려하지 못하므로 적합하지 않다. 호스콜드법의 문제점을 간단히 요약하면 다음과 같다.

- i) 조업중간기간 중 광산평가액과 그때까지의 적립금의 합계가 최초평가액과 다르다.
- ii) 평가액은 현금흐름(cash flow)이 아닌 연 수익의 현재가치에 불과하다.
- iii) 투자회수를 위한 적립금의 적용은 현대기업의 금융활동과 일치하지 않는다.
- iv) 위험율에 의한 보수는 초기투자액에 대해 계산되고 있으며, 투자가 회수되어도 초기투자액에서 공제되지 않는다.
- v) 화폐의 시간적 가치가 직접 반영되지 않는다.
- vi) 호스콜드법에 의한 평가는 광산의 가치를 저평가한다.

평가액이 현금흐름이 아닌 현재가치에 불과하다는 것은 실제 기업운영에 있어서는 초기투자 뿐만 아니라 운영비, 법인세, 감가상가비, 폐업경비 등도 고려되어야 하는데, 이들이 반영되지 못한다는 것이다. 아울러, 광산은 대개 기업기, 발전기, 성업기, 쇠퇴기를 거치며 생산 활동이 이루어지며 이는 개별 광산마다 각각의 기간이 달라 현실적으로 시간 경과에 따른 현금의 흐름을 잘 반영하지는 못한다. 또한, 연수익의 일정부분을 비교적 낮은 안전율로 매년 적립하여 사업종료 후 투자액과 동액을 회수하도록 되어 있는데, 현실적으로 기업의 금융활동은 이익극대화를 위한 또 다른 투자에 지출되는 것이 통례이다.

화폐의 시간적 가치가 반영되지 않았다는 것은 시간 선호율을 고려하지 않고 있다는 것이며, 이로 인해 매 기의 1원은 어느 시점에서나 같은 가치를 갖게 된다. 이는 현재가치법에서도 같다고 볼 수 있는데, 시간선호율을 별도로 고려함으로써 해결이 가능하다. 그러나 시간선호율은 시점간의 가치변화가 기회비용(대체로 이자율을 반영)의 관점에서 발생하는 할인율과는 다소 차이가 있으며 개별 주체에 따라 상이하므로 실증적인 분석에서는 고려하기가 쉽지 않다.

한편, 현재가치법의 경우 언급한 바와 같이 수익률을 고려하지 못하며, 가치의 시간적 선호를 반영하기가 쉽지 않다는 단점이 있을 뿐 아니라, 호스콜드법과 비교하면 광산개발이라는 사업의 특수성 중 하나인 위험율을 고려하지 못한다는 단점이 있다. 위험율이란 사업의 진행에 있어서 발생 가능한 불확실한 변화를 말하는데, 광산개발에 있어서는 가격이나 비용의 변화뿐 아니라 개발의 대상인 지하의 광상에 대한 정보가 확률적으로 알려져 있기 때문에 발생하는 불확실성이 존재한다. 이 불확실성을 나타내는 요소를 호스콜드법에서는 고려하고 있으나 현재가치법에서는 그렇지 않다. 그렇다고 호스콜드법이 더 유용하다고 볼 수는 없는데, 확률적 정보로 인한 불확실성이 어느 정도인지를 파악할 수 없다는 점과 이를 반영하기 위해 광산에 대한 투자의 배당률을 이용한다는 것이 그 이유이다. 실제에 있어서 이 위험율은 안전율보다 높은 일정율로 책정하는 것이 보통이며 외부로부터 자금을 차입하거나 투자를 유치하여 사업을 진행하는 경우가 많으므로 의미 있는 고려라고 볼 수 있다. 그런데, 이는 사업 운영에 필요한 총 자본이 확보되지 않은 사업자의 경우에 한정되는 것으로서 만일 사업자가 충분한 자본력이 있다면 이와 같은 자본 조달을 위한 비용의 지불이 요구되지 않는다. 따라서 가장 효율적인 사업자를 고려한다면

반드시 이와 같은 위험율(배당율)을 고려해야 하는 것은 아닐 수도 있다.

기본적으로 호스콜드법은 기업의 관점에서 광산개발이라는 사업을 함에 있어서 어느 정도의 이윤이 가능한가에 관심이 있는 방법이므로 실제적인 조건에 부합하도록 구성하는 것이 본래 목적에 더욱 적합하다고 볼 수 있다. 연 수익을 현실적인 비용과 편익(가치)을 고려하여 형성한 후 시점별로 별도 지정해 주고, 또 그 가치에 시간 선호를 고려하여 대입한다면, 상기 문제점을 어느 정도는 해결해 줄 수 있을 것으로 보인다. 이렇게 호스콜드법의 문제점을 가급적 해결해 주면, 결국 현재가치법과 같아지게 되는데, 이 같은 점을 고려한다면 현재가치법이 다소 장점을 갖는다고 볼 수도 있다. 특히, 본 연구와 같이 지하자원 전체라는 집합체의 가치를 간접적으로 평가하고자 하는 경우에 있어서는 정의를 구체화 한다거나, 가정을 완화하는 과정을 통해 양자가 결과적으로 동일한 방법이 될 가능성이 높다.

## 제 5 장 시 산

### (1) 시산개요

전술한 바와 같이, 현재 활용 가능한 자료는 종전과 달리 광산이 실제 생산에 소비한 화약량을 파악할 수 없다. 또한 노천채광뿐만 아니라 비금속 갱내채광도 고려해야하는 여건이다. 이에 본 시산은 기존의 추계방법에서 화약사용량을 이용하지 않고, 채광방식에서도 기존의 추계방법에서 갱내채광을 고려하여 진행하기로 한다.

지하자원 가치추계의 가장 기초자료는 매장량 자료이다. 매장량 자료는 광물자원공사가 2년간 자료(bi-annual data)를 공표하고 있다. 지하자원 가치추계의 기초자료이나 매년 집계하기 어려운 점이 있어 격년 간 공표되고 있는데, 이는 매년 추계해야하는 국가자산 추계의 관점에서 보완할 점이 있다.

한편, 비용의 측면에서는 화약량을 집계할 자료가 없는 상황이므로 화약량을 활용할 수 없다. 장비의 비용은 기존의 추계방법과 같이 <InfoMine USA,Inc.>의 자료를 사용할 수 있다. 이 자료는 주요 장비업체의 가격과 비용을 평균적으로 산출한 것인데, 장비의 규모와 비용에 관해 활용에 적합한 수준의 상세자료를 제공하고 있다. 장비의 선정은 국내 광산에서 사용빈도가 높은 규격의 장비들을 선정하였으며, 상세자료를 이용할 수 있기 때문에 비용 최소화 과정을 개입시킬 수 있다.

구조적인 생산과정 시나리오에 따라 추정된 비용은 전체 비용의 80%를 차지한다<sup>11)</sup>. 따라서 고려하는 비용요소-화약 및 천공과정, 상차 및 운

반과정, 파쇄과정-를 화폐단위로 산출하여 합산한 비용에 1.25를 승하여 전체 비용으로 간주하며, 광산별 매장량의 잠재가치가 이 비용을 초과하지 못하면 추계시점에서는 경제성이 없는 매장으로 받아들여 추계대상에서 제외한다.

추계의 마지막 단계는 현재가치화의 단계이다. 현재가치화의 방법은 전기한 바와 같이 다양한데, 호스콜드법이나 오도나휴법은 기업의 위험을 고려하는 방법이라 할 수 있다. 국가자산의 가치평가는 이와 같은 생산자의 위험분산과정이 요구되지 않는다고 판단하여 본 연구는 순현재가치(NPV : net present value)법을 적용한다. 여러 사례들도 순현재가치법을 적용하고 있다.

## (2) 매장량의 잠재가치<sup>12)</sup>

국가자산 추계의 관점에서 지하자원의 자산가치는 이 잠재가치에서 생산비용을 뺀 값이다. 그러므로 지하자원의 자산가치를 추계하는 과정에서 첫 단계는 매장량의 잠재가치를 산정하는 것이다. 단순히 매장량과 경상가격을 곱하는 것으로 잠재가치를 산출할 수 있다. 다만, 시장에서 나타나는 가격이 확률사건의 결과라는 관점에 따라 일정기간의 평균 가격을 적용하는 것이 긍정적인 것으로 판단된다.

지하자원의 자산 추계 대상 매장량은 확정광량과 추정광량의 일정분을 포함한 가채광량이다. 이는 생산자의 탐사 혹은 탐광이라는 적극적인 행동이 요구되는 부분이므로 이 역시 기간 평균치를 도입할 수 있다. 다만,

---

11) 이는 2000년대까지의 광물자원공사 평가조서를 통해 확인하였으며, 전문가 자문회의를 통해 검토한 결과이다.

12) '잠재가치'는 광물자원공사의 <광물자원 매장량현황>에 사용된 말이다.

활용 가능한 매장량 자료가 격년 간에 발간되므로 자료 여건의 이유로 당해년 값을 사용하는 방법을 제안한다.

한편 매장량 자료로서 활용할 수 있는 것은 광물자원공사의 자료인데, 이는 격년 간에 공표되고 있다. 국가자산 통계의 작성에 따라 매년 추계하기 위해서는 미공표 시점에 대한 매장량 추정이 선행되어야 한다.

자료가 공표되지 않는 시점에 대해 추정을 하는 데에 활용할 수 있는 자료는 공표되는 시점의 자료와 대상기간의 생산량이 있다. 매장량을  $Q$ 라 하고, 생산량을  $y$ , 탐광으로 확보된 매장량을  $q$ 라 하면 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_{t+1} = Q_t - y_{t+1} + q_{t+1}$$

$t+1$ 기의 매장량은  $t$ 기의 매장량에  $t+1$ 기의 생산량과 탐광 확보량에 따라 결정됨을 의미한다. 여기서  $t$ 기의 매장량과  $t+1$ 기의 생산량은 자료를 통해 확인할 수 있으나(known)  $t+1$ 기의 탐광확보량은 확인할 수 없다(unknown). 실제 자료는 격년 간에 공표되는 것으로 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$Q_{t+1} = Q_t - y_{t+1} + q_{t+1}$$

$$Q_{t+2} = Q_{t+1} - y_{t+2} + q_{t+2}$$

$$Q_{t+3} = Q_{t+2} - y_{t+3} + q_{t+3}$$

이때,  $t+1$ ,  $t+3$ 기의 생산량과 매장량은 자료를 통해 확인할 수 있는(known) 값인데, 탐광으로 확보된 량은 확인할 수 없는(unknown) 값이다. 따라서  $t+1$ ,  $t+3$ 기의  $Q$ 와  $y$ 로  $Q_{t+2}$ 를 표현하면 공표되지 않는 시점의 매장량을 이용할 수 있다. 생산량이 “0”인 광산의 경우, 관계식 이전에 점차 매장량이 증가한다고 보는 것이 바람직하지만<sup>13)</sup>. 생산활동이 진행되고 있는 광산은  $q_{t+i}(i=1,2,3)$ 의 정보를 이용할 수 없다. 따라서 자료 공표가 없는 시점의 대상 매장량은 평균 증가율을 고려한 보간법을 이용하는 것이 바람직하다.

### (3) 파쇄비용

비용추정 과정에서 파쇄장비의 선정을 우선할 필요가 있다. 파쇄는 매장되어 있는 지하자원을 지표와 분리시킨 광물을 일정 크기로 조정하는 과정인데, 1-3차로 구분할 수 있고 점차 작은 크기로 조정하는 과정이다. 비금속광물의 경우 노천광산 대부분은 품위조정과정은 적용되지 않으며, 크기 조정을 위해 파쇄공정이 진행된다. 이는 출하되는 제품이 고품위의 상품이 아니고, 일부 표토나 부속광물이 포함되어도 상품가치에 영향이 없는 경우들에 대해 노천채광 방식을 적용하기 때문이다. 비금속광물 중에서도 고품위의 순도 높은 제품을 출하하는 경우는 순도를 확보하기 위해 파쇄공정 진행 후 분쇄과정을 진행하기도 한다. 국내 대부분 비금속 갱내채광은 고품위의 광물을 생산, 판매하는 업체에서 적용하는데, 선택 채광의 장점을 극대화하는 것이며, 파쇄 이후 추가적인 분쇄과정이 요구

---

13) 대부분의 생산량이 없는 광산은, 미래의 생산을 위한 탐사과정이 진행 중인 광산을 제외하고는, 추가적인 탐사활동이 진행되지 않아 매장량에 별다른 변화가 없다.

되며, 2단계에 걸쳐 분쇄를 진행한다. 비금속 광물 갱내채광 광산은 상품화에 중괴, 소괴, 분의 비율이 대부분 30%:30%:40% 인데<sup>14)</sup>, 분의 생산에 분쇄과정이 적용된다. 분의 생산은 파쇄과정에서 자연적으로 진행되기도 하므로 전체 분 생산물의 50%에 해당하는 부분만이 분쇄공정을 통해 생산된다.

파쇄장비는 실제 광산에서 이동이 곤란한 장비이며, 다른 규모의 장비로 자주 교체하기도 어려운 장비이다<sup>15)</sup>. 1차 파쇄에 해당하는 조쇄공정의 장비는 매장광물의 매장형태와 주변여건에 따라 위치시키는 것이 일반적이는데, 매장광물의 생산에 화약류를 사용하여 진동이 있고, 장비가동에 소음과 진동이 발생하기 때문에 안전과 효율성을 고려하여 위치시킨다. 효율성이란 채광한 광물의 운반과 파쇄를 거쳐 분쇄 및 출하를 진행하는 과정에서의 효율성을 의미한다.

현재 가행 중인 광산에서 사용하는 조쇄장비는 시간당 1800톤 규모의 장비가 최대이다<sup>16)</sup>. 따라서 본 시산에도 1차 파쇄에 이용되는 장비의 최대규모를 1800ton/hour로 제한하고 최소규모는 300ton/hour로 한다. 2차, 3차의 파쇄는 중쇄라고도 하는데, 이는 조쇄를 통해 일정 수준의 크기조정이 진행된 광물에 대해 추가적인 크기조정과정이라 할 수 있다. 대부분의 광산은 운반효율성 확보를 위해 조쇄과정의 생산물을 별도의 운반과정 없이 중쇄장비에 분급할 수 있도록 장비를 배열하고 있으며, 이와 같은 상황을 반영하여 본 시산에서도 조쇄와 중쇄 간 운반과정은 고려하지 않는다. 다만 중쇄 장비는 조쇄 장비의 능력에 맞도록 선정하여야 한다. 예를

---

14) 생산광산 현장 탐문을 통해 확인하였다.

15) 실제 국내 광산에서는 조쇄장비를 동일한 위치에 설치하고 50년 이상 사용한 레도 있다. 그러나 절대 이동이 안되는 것은 아니어서 일정기간 사용 후 여건에 따라 이동 설치하기도 한다.

16) 실제 광산현장조사를 통해 확인한 사항이다.

들면 파쇄 장비가 시간당 1800톤을 처리할 수 있는 능력을 가졌다면 중쇄 장비도 시간당 1800톤을 처리할 수 있도록 300톤 장비 6대를 연계시키는 것이다.

파쇄장비의 선정은 매장량을 모두 생산하는 데에 가장 비용효율적인 장비 연계를 선택하는 것이다. 파쇄장비의 가격과 단위시간당 소요되는 비용은 <InfoMine USA,Inc.>의 장비와 비용자료를 통해 확인할 수 있으며, 이 자료를 적용해 매장량을 모두 생산하기 위해 소요되는 비용을 장비 규모별로 산정하여 최적 장비를 선정한다. 주의할 점은 파쇄장비는 상차 및 운반장비, 천공장비와 달리 일정 위치에 건설하는 형태로 설치되기 때문에 임대나 일일 사용이 매우 곤란하다. 이점을 고려하여 선정된 파쇄 장비는 장비의 수명기간에 대해 비용을 지불해야한다. 따라서 매장량 전체를 생산하기 위해 필요한 파쇄장비의 대수를 산출하고 이에 대해 구입비용(고정비용)을 도출한 후, 가동시간에 따른 운영비용(가변비용)을 도출, 산입하는 방식으로 비용을 추정해야 한다. 운영비용은 가변비용으로서, 유지비, 보수비, 에너지 소비비가 포함된다. 운영에 필요한 인력은 광산업체의 인력현황에 따라 전담인력 배치 가능성이 다르므로 <InfoMine USA,Inc.>의 제안에 따르지 않고 국내 실제 광산의 인력현황을 별도로 분석하여 추후에 산입한다.

분쇄과정에서 사용되는 장비는 규모 측면에서 파쇄 장비만큼 폭넓지 않기 때문에 일정 규모의 ball mill과 rod mill을 지정하였다. 현재 <InfoMine USA,Inc.> 자료를 통해 확인할 수 있고, 국내 활용도가 높은 mill의 규모로 각각 300톤급, 100톤급 장비를 선정하였다. 갱내광산 생산물의 20%는 분쇄과정을 거쳐야 한다.

#### (4) 상차 및 운반비용

채광 현장에서 지표와 분리된 광물은 파쇄를 위해 운반되어야 한다. 이 단계에서 진행되는 작업이 상차 및 운반 작업이다. 광산채광에서 파쇄 장비가 선정되면 파쇄장비의 비용효율성 확보를 위해 파쇄 능력에 맞게 광산물을 투입하게 되며, 이는 채광과 상차 및 운반 작업의 작업량을 결정하게 한다. 따라서 발파작업으로 채광된 광물을 파쇄장비에 공급하는 상차 및 운반 작업은 파쇄장비의 일별 작업량을 맞출 수 있도록 선정하는 것이 효율적이다.

매장량을 통해 파쇄장비가 선정되면 단위시간당 파쇄장비의 처리량을 산출할 수 있고, 이 처리량을 충당하여 채광된 광물을 공급할 수 있도록 상차 및 운반장비를 선정한다.

상차 및 운반은 상차를 담당하는 로더와 운반을 담당하는 덤프트럭이 진행한다. 일반적으로 노천광의 경우 갱내광 장비 보다 규모가 큰 장비를 사용한다. 이는 갱내채광의 경우 갱도폭과 높이가 제한적이기 때문에 갱도 출입이 자유로운 크기의 장비만이 사용될 수 있다. 국내 갱내채광 광산의 갱도는 폭 10m, 높이 6m 정도를 보인다<sup>17)</sup>. 따라서 갱내용 장비는 높이 5m 정도의 작업범위를 갖는 장비의 활용이 대부분이며, 결과적으로 건설용 장비를 사용하는 경우도 흔히 찾을 수 있다. 이와 같은 여건에서 시산에 적용된 갱내용 로더는 시간당 450톤급과 1000톤급 장비를 선정하였으며, 덤프트럭은 실제 현장의 일반적 행태에 따라 15톤, 25톤 트럭을 선정하였다.

---

17) 실제 광산현장조사를 통해 확인한 사항이다.

한편 노천채광에서는 갱도 제약이 없으므로 보다 폭넓은 선택의 기회가 있으며, 기존의 방식과 규격에 따라 4종의 로더(shovel)와 4종의 덤프트럭을 대상으로 최적화과정을 거치도록 하였다. shovel은 4.5cuyd<sup>18)</sup> ~ 13.1cuyd급, 덤프트럭은 25톤 ~ 90톤급 장비를 대상으로 하였다<sup>19)</sup>.

상차 및 운반비용은 파쇄장비의 비용과 달리 임대 등 탄력적인 고용이 가능하기 때문에 작업량에 따라 일단위 고용이 가능함을 전제로 한다. 따라서 최초 고용 시점에서도 구입비용을 고려할 필요가 없고, 구입비용은 전체 내구기간에 대해 평균적으로 배분하여 시간당 운영비용에 산입하여 산출한다.

상차 및 운반에 투입되는 장비의 비용정보 역시 <InfoMine USA,Inc.> 자료를 통해 확인할 수 있는데, 해당 인력투입 정보는 이용하지 않으며, 별도의 단계에서 산출하여 추가하는 형태로 진행하였다.

## (5) 인건비

인건비에 관한 정보는 한국지질자원연구원이 발간하는 <광업·광산물 통계연보>에 수록되어 있는 ‘광산물생산종합/노무자수’편에서 확인할 수 있다. 본 시산에서 인건비는 생산과정 부분마다 추산하지 않고 실제 광산 생산량에 따라 1인당 생산량을 평균적으로 산출하여 매장량별 별도로 산입하도록 한다.

실제 국내 광산들의 생산여건을 고려할 때 생산과정 부분마다 인력현황을 구분하여 추정하는 것이 곤란하다. 또한 장비비용의 자료로 참고하

---

18) cubic yard로 버킷 크기를 의미한다. 1cuyd는 대략 0.76 cubic meter에 해당되며, 석회석류 광종의 비중은 2.7 정도이므로 2톤이 조금 넘는다.

19) 실제 광산현장조사를 통해 확인한 사항을 고려하여 선정하였다.

는 <InfoMine USA,Inc.>에서 인건비 부분이 금액으로 제시되어 있으나 우리 현실에 적합하다 할 수 없다. 이와 같은 여건을 고려해 인건비 부분은 실제 광산의 보고자료들을 집계하여 노무 1인당 생산량을 산출하여 생산량에 따른 인건비 소요액을 광종별로 적용한다.

## (6) 화약사용량과 천공장비

종전의 추계는 실제 광산에서 수행한 생산활동을 통해 광종별 구분 지표로 화약사용과 생산량의 관계인 발파량을 이용했다. 그러나 광산생산보고양식의 변화로 현재는 화약사용량을 확인할 수 없게 되었는데, 이에 따라 본 시산에서는 화약 및 천공장비에 관한 비용의 전체 비용에서의 비율을 평균적으로 적용하여 산입하는 방안을 제안한다.

## (7) 노천과 갱내채광의 반영

노천과 갱내채광에 의한 비용은 노천노무인력과 갱내노무인력의 비율 추이에 따라 산입한다.

## (8) 시산결과

상기한 바의 사항을 반영하여 2016년도 매장량 현황에 대해 광종별, 광산별 접근의 방법으로 지하자원 가치추계를 시행하였다. 언급한 바와 같이 금속광은 갱내채광 방식을 전제하였고, 비금속광의 경우 노천채광을 전제하고, 석회석, 규사·규석, 납석에 대해 갱내채광을 반영하였다. 비금속광의 갱내채광은 광종별 총생산량에 대해 갱노무인원 중 갱내인원의 비

을만큼이 해당되는 것으로 하였다.

금속광 3종(연, 아연, 철)과 비금속광 6종(석회석, 규사·규석, 납석, 장석, 고령토, 운모)의 시산 결과는 다음과 같다.

표 13. 시산결과

(원)

|     | 2016               | 2014               | 2012               |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| 석회석 | 29,590,515,587,027 | 22,440,170,941,133 | 31,061,896,180,069 |
| 납석  | 360,922,615,968    | 1,602,342,336,097  | 1,089,603,711,097  |
| 규석  | 22,113,981,544,229 | 17,529,308,021,071 | 19,189,699,368,952 |
| 장석  | 1,888,516,850,661  | 1,888,516,850,661  | 1,888,516,850,661  |
| 고령토 | 933,287,887,037    | 921,603,250,719    | 1,056,673,511,297  |
| 운모  | 283,297,536,133    | 1,154,926,176,385  | 327,919,373,042    |
| 철   | 506,168,408,183    | 1,002,246,692,239  | 1,271,342,537,569  |
| 연아연 | 222,357,317,266    | 144,259,825,665    | 143,982,159,311    |
| 연   | 129,648,723,792    | 43,483,169,939     | 46,363,870,487     |
| 아연  | 92,708,593,473     | 100,776,655,725    | 97,618,288,823     |
| 계   | 55,899,047,746,503 | 46,683,374,093,969 | 56,029,633,691,998 |

## 제 6 장 부 가 사 항

### (1) 광물탐사 및 지하수자산

#### 광물탐사와의 연관성 검토

① 지하자산의 가치를 추계함에 있어 고려되는 비용은 생산비용이며 탐사비용은 고려하지 않는 것이 일반적이다.

② 광물탐사는 다양한 지질조사분야 중 세부적이고 목적지향적인 지질 조사의 한 분야이므로 광물탐사의 가치는 지하자산과 관련 없는 부분에서도 발생 가능하므로 지하자산의 가치와 직접 연관된다고 보기보다는 별도의 가치를 갖는다고 보는 것이 타당할 것으로 사료된다.

#### 지하수자산 추계 가능성 검토

① 현재 부존하는 지하수의 사용가치: 현재 지하수는 다양한 용도로 폭넓은 분야에서 활용되고 있으며 이 활용되는 부분의 가치는 수도 혹은 지표수를 활용할 때의 지불 금액을 토대로 추계할 수 있다.

② 지하수 사용량 및 부존량: 지하수의 사용량, 부존량 및 그 증감에 대한 자료가 미비하여 가치화하기가 곤란하다.

③ 지하수의 자산가치 추계 가능성: 지하수의 생성은 지구순환체계에 따라 이루어져 지하에 부존하는 수자원이므로 일정한 위치에서 지표수로 바뀌며 지표수로 바뀌는 양은 지하수의 사용량에 따르게 된다. 즉, 사용

하지 않으므로 지하수량이 증가하지 않으며, 사용하므로 감소하지도 않는다. 내용연수를 파악하기가 곤란할 뿐만 아니라 내용연수를 인정할 경우 궁극적으로는 더욱 큰 혼란을 가중할 우려가 있다.

## (2) 기타 추계시계열, 부문 및 활동별 배분

### 추계시계열 대상기간

우리나라의 광물자원 매장량 집계는 1986년부터 체계적으로 매 2년마다 시행하고 있으나 최근 자료인 1996년부터 2002년까지의 시계열을 대상으로 시산하였다. 다양한 시산결과를 제시했는데, 광물자원 매장량 집계 자료가 발간된 1996, 1998, 2000, 2002 년도의 현재가치법을 통한 시산을 가장 기본적인 결과물로 앞서 제시했으며, 이후 관련 추산을 제시하였다.

### 제도부문별, 경제활동별 배분

현재 작성되고 있는 매장량 및 광산 현황의 자료는 등록번호를 명시하고 있어 등록번호 별 자산가치는 추계할 수 있으나 해당 등록번호의 주체에 대한 사항을 판단하기는 곤란하였다. 한편, 일본의 제도부문 분류 사례를 보면 지하자원 자산액은 법인기업 소유 외에 개인소유 및 공유분이 약간 포함되지만, 제도부문 분할을 위한 적당한 자료를 얻을 수 없기 때문에 모두 비금융 법인기업으로 분류하고 있다.

## (3) 가채연수의 문제

현재가치화 기법을 적용함에 있어서 판단을 요하는 부분으로 가채연수의 문제를 들 수 있다. 가채연수의 문제는 전체 가치를 할인해 주도록 설정되어있는 현재가치화 방법론에 큰 영향을 미칠 수도 있는데, 지나치게 장기로 설정할 경우 미래가치의 상당부분이 의미 없는 값을 가질 수 있다. 따라서 일본, 영국 등의 사례에서 가채연수를 일정수준(각 45년, 25년)으로 제한하는 사례들도 나타난다. 이들은 가채연수의 산정에 있어서 제한한 기간 안에 전체 매장량을 생산한다고 가정하여 추계하는 형태를 보이고 있다. 우리나라 지하자원의 가채연수를 산정함에 있어서도 부존량의 가치를 지나치게 축소시키지 않는 범위의 제한이 필요하다.

본 연구에서는 광산별 추계를 제안하고 있으며, 이는 각 광산별 매장량에 대한 가채연수를 산정할 수 있도록 하고 있으므로 생산시점을 현재로 의제하여 가채연수를 적용할 것을 권한다.

#### (4) 총량접근법

지하자원의 가치를 추계함에 있어서 본 연구는 광산별 접근을 제시하고 있다. 그러나 최근 광업법령 변경 등으로 인한 자료이용 제약은 기존의 방법을 유지하기 어렵게 하였다. 특히 생산요소에 대한 정보 일부를 이용할 수 없게 되어 기존의 추계 값과는 다소간 구조적인 차이가 발생할 수밖에 없다. 이와 같이 자료의 상황 혹은 여건 변화가 통계작성에도 영향을 미칠 수 있을 가능성을 최소화한다는 관점에서는 광산별 접근 방법보다 광종별 접근이 장점을 가질 수 있다.

광산별 접근은 개별광산의 경제성 여부에 대해 시나리오와 최적화 과정을 통해 경제성 여부를 검토하는 과정이 수반되어야 하므로 보다 많은 자료와 판단이 요구된다. 반면 광종별 접근은 개별광산의 경제성을 검토

하는 과정이 개입되지 않아 최적화 과정이 상대적으로 단순하며, 경제성 기준에 대한 판단도 단순화할 수 있다.

광종별 접근은 광산별 접근에 비해 비용선정 측면에서 다소 과소평가 될 가능성이 있다. 이는 광산규모에 따른 비용-효율성의 문제를 고려하지 못하기 때문인데, 광산장비의 이산적 규격으로 인해 생산량에 따라 최적 조합이 존재한다. 이는 가행여부의 결정에도 영향을 미치며, 가행 중인 광산의 비용측면에도 영향을 미칠 수 있다.

광종별로 총량에 대해 가치를 평가할 경우 광산별 경제성에 따른 기간 당 생산량이 추론되지 않기 때문에 실제 시장에 출하된 량을 기준으로 진행할 수 있다. 다만, 이 경우, 광물 부존량에 대해 생산기간을 지나치게 장기로 책정하게 할 수 있으며, 기간별 할인율이 적용되는 구조의 현재가치화 기법은 시간의 흐름에 따라 가치를 할인하여 책정하게 되므로 점차 의미 없는 값을 갖는 것으로 계산하게 된다. 이와 같은 문제는 2002년 일본의 지하자원 자산추계 매뉴얼에서도 언급하고 있는데, “광산이 가지는 내용연수를 일정기간 이상 장기에 걸쳐 측정하는 것은 곤란하며, 호스코르드 방식에서는 일정 기간을 넘으면 평가액이 지나치게 과소평가되는 점 등의 이유로 50년을 한도로 설정”하였다. 뿐만 아니라 영국의 ONS (the Office for National Statistics)는 “Accounting for the value of nature in the UK(2012)”에서 비재생자산(non-renewable resources)에 대해 25년을 한정하였음을 명시하였다<sup>20)</sup>. 모든 사례들이 유사한 가정을 도입하고 있는 것은 아니나<sup>21)</sup>, 장기의 가행기간 설정에 따른 과소평가 경향에 대해 기간

---

20) “Principles of Natural Capital Accounting(2017)”의 p.50, principle 8.2에 제시

21) ABS(Australian Bureau of Statistics)의 “Accounting for subsoil assets in the Australian national accounts(2003)” 와 같은 사례는 asset life에 대해 제한하는 가정을 도입하지 않았다.

한정형태의 보정을 도입하는 경우들을 볼 수 있다. 따라서 지나치게 장기의 가행기간을 상정하는 것은 가치를 과소평가하게 됨을 상기하여 일정 수준의 한정된 기간을 설정하여 진행할 필요가 있다고 사료된다.

## <참고문헌>

- InfoMine USA,Inc., Mine and Mill Equipment Costs An Estimator's Guide  
2017, InfoMine USA,Inc., 2017
- 과학기술처/한국자원연구소, 금속광개발기술연구, 한국자원연구소, 1991
- 대한광업진흥공사, 대규모 비금속 광체의 갱내 채광 system 연구, 대한광  
업진흥공사, 1993
- 대한광업진흥공사, 일반광 현대화 장비에 의한 채광기술 연구, 대한광업  
진흥공사, 1991
- 산업자원부, 일반광(장석 및 납석)의 효율적인 개발대책 연구, 산업자원부,  
2000
- 산업자원부/대한광업진흥공사, 광물자원 매장량 현황, 대한광업진흥공사,  
각년호
- 산업자원부/한국지질자원연구원, 광산물수급현황, 한국지질자원연구원, 각  
년호
- 신의순, 자원경제학, 박영사, 1995
- 에너지경제연구원, 에너지통계연보, 에너지경제연구원, 각년호
- 오호성, 자원환경경제학, 법문사, 1990
- 이경한, 석회석 생산비와 생산규모간의 관계분석, 한국지질자원연구원논  
문집, 2004
- 전용원, 지구자원과 환경, 서울대학교출판부, 1997
- 조용성, 광업투자의 경제성평가에 관한 고찰, 서울대학교공학석사논문,  
1987

최기련, 자원경제입문, 한국경제신문사, 1989

한국광업협회, 대한민국 광산편람, 2017

한국자원연구소, 광산개발에 따른 비용과 편익분석, 한국자원연구소, 2000

한국자원연구소, 노천광의 훼손년적 최적화 및 복구대책 연구, 한국자원  
연구소, 1998

한국자원연구소, 비금속광 현대화 채광연구, 한국자원연구소, 1998

한국자원연구소, 석회석 유통구조 분석연구, 한국자원연구소, 1998

한국자원연구소, 일반광의 효율적인 개발을 위한 종합연구, 한국자원연구  
소, 1997

한국자원연구소, 장기개발 탄광의 원가절감 방안 및 기계화 연구, 한국자  
원연구소, 1997

한국자원연구소, 하동지역 티탄철석의 선광 및 활용 경제성 연구, 한국자  
원연구소, 1998

한국지질자원연구원, 월간자원정보, 한국지질자원연구원, 각호

## 부록 1. 시산의 산식

### (1) 발과량 산정<sup>1)</sup>

- 사용자료원 : 광산물생산보고서 자료, 월간자원정보
- 광산물생산보고서 자료로부터 광산별 요소사용량 조사(월별)
- 월간자원정보로부터 광산별 월별 생산량 조사
- 화약류 단위당 생산량 산출

#### (1-1) 광산별 화약류 단위당 생산량

$$= (\text{광산별 월생산량}) / (\text{광산별 월 화약류 사용량})$$

#### (1-2) 광종별 화약류 단위당 생산량

$$= \text{AVERAGE}(\text{광산별 화약류 단위당 생산량})$$

### (2) 비금속광 조쇄장비 선정

---

1) 발과량은 기존의 방식에서 적용하였던 과정으로 이해의 편의를 위해 제시하였을 뿐이며, 본 연구에 제시한 시산에서는 적용하지 않는다.

- 고려대상 장비규격 선정(실사 및 문헌조사)
- 가격 및 운영비용 자료 확보(Mine and Mill Equipment Cost)
- 선정된 장비 규격에 따른 가격 및 운영비용 자료 정리
- 광산 가채광량에 따른 장비의 선정

(2-1) 광산별 조쇄장비 고정비용

$$= \text{ROUNDUP}\{(\text{가채광량})/(\text{조쇄장비능력})\} * (\text{조쇄장비가격})$$

(2-2) 광산별 조쇄장비 가변비용

$$= \{(\text{가채광량})/(\text{시간당 조쇄장비능력})\} * (\text{조쇄장비 가변비용})$$

(2-3) 광산별 조쇄장비 비용

$$= (\text{광산별 조쇄장비 고정비용}) + (\text{광산별 조쇄장비 가변비용})$$

(2-4) 광산별 최적 조쇄장비 선정

$$= \text{MIN}\{(\text{조채 비용})_i, \dots, (\text{조채 비용})_{iv}\}, i \dots iv : \text{장비규격}$$

### (3) 금속광 조채장비 선정

- 고려대상 장비규격 선정(실사 및 문헌조사, 분쇄장비)
- 가격 및 운영비용 자료 확보(Mine and Mill Equipment Cost)
- 선정된 장비 규격에 따른 가격 및 운영비용 자료 정리
- 광산 가채광량에 따른 장비의 선정

#### (3-1) 광산별 조채장비 고정비용

$$= \text{ROUNDUP}\{(\text{가채광량})/(\text{조채장비능력})\} * (\text{조채장비가격})$$

#### (3-2) 광산별 조채장비 가변비용

$$= \{(\text{가채광량})/(\text{시간당 조채장비능력})\} * (\text{조채장비 가변비용})$$

광산 품위와 상품 기준품위를 고려하여 분쇄 대상 광량산정

(3-3) 광산별 분쇄대상 광량

$$= (\text{광산별 가채광량}) * (\text{광산별 품위}) / (\text{기준품위})$$

(3-4) 광산별 분쇄장비 고정비용

$$= \text{ROUNDUP}\{(\text{분쇄대상광량}) / (\text{분쇄장비능력})\} * (\text{분쇄장비가격})$$

(3-5) 광산별 분쇄장비 가변비용

$$= \{(\text{분쇄대상광량}) / (\text{시간당분쇄장비능력})\} * (\text{분쇄장비가변비용})$$

(3-6) 광산별 조·분쇄장비 비용

$$= (\text{광산별 조·분쇄장비 고정비용})$$

$$+ (\text{광산별 조·분쇄장비 가변비용})$$

(3-7) 광산별 최적 조·분쇄장비 선정

$$= \text{MIN}\{(\text{조}\cdot\text{분쇄장비비})_i, \dots, (\text{조}\cdot\text{분쇄장비비})_{iv}\}, i \dots iv: \text{장비규격}$$

#### (4) 상차 및 운반장비 선정<sup>2)</sup>

- 상차 장비와 운반장비의 연계(실사 및 문헌조사, 분쇄장비)
- 가격 및 운영비용 자료 확보(Mine and Mill Equipment Cost)
- 선정된 장비 규격에 따른 가격 및 운영비용 자료 정리
- 상차·운반장비 조업시간 산정 : 상차장비 분(minute)당 처리량  
(Mine and Mill Equipment Cost 수록) 이용, 운반거리 2~3km
- 각 장비의 규격에 따른 실수율(실사) : 80%

##### (4-1) 가채광량 상차시간(hour)

$$= \{(\text{가채광량}) / (\text{분당 처리량})\} / 60(\text{min})$$

##### (4-2) 상차장비 단위시간(hour) 당 고정비용

---

2) 상차 및 운반 장비의 고정비용은 단위시간 당 비용으로 산출하여 가변비용과 합하여 적용한다.

$$= \{ (\text{상차시간}) / (\text{장비 내구기간(시간)}) \} * (\text{장비가격})$$

(4-3) 상차장비 가변비용

$$= (\text{상차시간}) * (\text{시간당 가변비용})$$

(4-4) 가채광량 운반시간(hour)

$$= \{ (\text{가채광량}) / (\text{덤프 실수량}) \} * \{ 1 \text{회 운반시간(min)} / 60(\text{min}) \}$$

(4-5) 운반장비 단위시간(hour) 당 고정비용

$$= \{ (\text{운반시간}) / (\text{장비 내구기간(시간)}) \} * (\text{장비가격})$$

(4-6) 운반장비 가변비용

$$= (\text{운반시간}) * (\text{시간당 가변비용})$$

(4-7) 상차 및 운반장비 단위시간(hour) 당 비용

$$=(\text{상차장비 고정}+\text{가변비용})+(\text{운반장비 고정}+\text{가변비용})$$

(4-8) 상차 및 운반장비 선정

$$=\text{MIN}\{(\text{상차 및 운반장비 비용})_i, \dots, \text{iv}\}, i \dots \text{iv} : \text{장비규격}$$

(5) 천공장비 선정<sup>3)</sup>

- 고려대상 천공장비 규격선정(실사) : 시산에선 1종을 선정
- 가격 및 운영비용 자료 확보(Mine and Mill Equipment Cost)
- 선정된 장비 규격에 따른 가격 및 운영비용 자료 정리

천공장 : (장약장)\*1.1

천공경 : 90mm 가정(실사 및 문헌조사)

천공장 1m 당 화약량 = 1.458kg

천공속도 : 2.5m/min.

---

3) 천공장비와 화약량(화약비용)은 기존의 방법론에 활용된 것으로서 이해의 편의를 위해 제시한 것이며, 본 연구의 제안에는 활용되지 않는다.

(5-1) 광산별 화약량 산정(kg)

$$=(가채광량)/(발파량)$$

(5-2) 광산별 천공량 산정(m)

$$=(광산별 화약량)/(천공장 m 당 화약량)$$

(5-3) 광산별 천공시간 산정(hour)

$$=(천공량(m))/(2.5m)/60(min)$$

(5-4) 광산별 천공장비 고정비용 산정

$$={{(총천공시간)/(장비내구기간(시간))}*(천공장비가격)}$$

(5-5) 광산별 천공장비 가변비용 산정

$$=(총천공시간)*(시간당 가변비용)$$

(6) 화약비 산정<sup>4)</sup>

- 고려대상 화약류 조합비율 산정 : 시산에선 안포 1종 선정
- 선정 화약류 가격 조사 : 해당연도 물가정보지

(6-1) 광산별 화약류 비용

$$= \{(\text{가채광량})/(\text{발파량})\} * (\text{kg 당 가격})$$

(7) 인건비 산정

- 사용자료원 : 각 년도 광산물수급현황
- 연도별 광종별 근로자수 및 임금현황 자료 활용

(7-1) 광산별 인건비

$$= \{(\text{광종별생산량})/(\text{광종별 근로자수})\} * (\text{광종별 1인 연임금})$$

---

4) 천공장비와 화약량(화약비용)은 기존의 방법론에 활용된 것으로서 이해의 편의를 위해 제시한 것이며, 본 연구의 제안에는 활용되지 않는다.

(8) 가채연수 산정

- 가채광량과 조채장비 규격을 활용
- 1일 최대 생산량은 조채능력을 넘지 못함

(8-1) 가채연수

$$=[(가채광량)/(1일 조채장비가동시간)/(시간당조채능력)]/270(일)$$

(9) 가채광량 액 산정

- 가채광량을 모두 판매할 경우의 매출액
- 연/아연광의 경우 연과 아연의 품위비로 상대가격 산정
- 가격(연/아연광은 상대가격)과 가채광량을 통해 가채광량액 산정

(9-1) 가채광량액

$$=(가채광량)*가격(상대가격)*\{(광산품위)/(기준품위)\}$$

(10) 광산별 총비용

- 상기 (2)~(8)까지의 비용합

(11) 시간을 고려하지 않은 지하자산 가치

- 상기 (9)에서 (10)을 차감함

(12) 광산별 톤당 생산비

(12-1) 광산별 톤당 생산비

$$=(\text{광산별 총생산비})/(\text{광산별 총가채광량})$$

## 부록 2. 갱내채광 효과의 실증분석 결과

- 비금속 광산의 채광법에 따른 생산량 차이를 광산별 총생산량(tq)과 1인당 생산량(pcq)에 대해 실증적으로 확인
- 고정효과(fixed effects), 임의효과(random effects) 모형을 추정하였으며, 하우스만 검정(Hausman test) 결과를 제시
- 노천채광을 기준으로 갱내채광의 경우 평균적으로 어느 정도 차이가 나타나는지를 확인할 수 있음.
- 시멘트용 석회석 노천채광 광산의 수가 다수를 차지하므로 대체로 노천 석회석 광산과의 생산량 차이를 표시하는 경향이 나타남.
- 갱내채광과 노천채광 간 생산량의 유의한 차이를 확인
- 대상기간은 2010년 ~2017년이며, 년단위 자료를 이용하였음.

```

Fixed-effects (within) regression              Number of obs   =      2,595
Group variable: num                          Number of groups =       464

R-sq:                                         Obs per group:
  within = 0.2400                             min =          1
  between = 0.5223                            avg =         5.6
  overall = 0.5411                            max =         10

corr(u_i, Xb) = 0.4388                       F(3,2128)       =      224.05
                                                Prob > F        =      0.0000
    
```

| tq      | Coef.     | Std. Err.                         | t     | P> t  | [95% Conf. Interval] |           |
|---------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------|-----------|
| t1      | 23890.12  | 921.6318                          | 25.92 | 0.000 | 22082.73             | 25697.51  |
| aprice  | .0086581  | .0041826                          | 2.07  | 0.039 | .0004558             | .0168605  |
| under   | -162352.2 | 36098.46                          | -4.50 | 0.000 | -233144.1            | -91560.26 |
| _cons   | 76373.34  | 14807.61                          | 5.16  | 0.000 | 47334.44             | 105412.2  |
| sigma_u | 782809.57 |                                   |       |       |                      |           |
| sigma_e | 251302.49 |                                   |       |       |                      |           |
| rho     | .90657072 | (fraction of variance due to u_i) |       |       |                      |           |

```

F test that all u_i=0: F(463, 2128) = 72.52          Prob > F = 0.0000
    
```

```

Random-effects GLS regression              Number of obs   =      2,595
Group variable: num                       Number of groups =      464

R-sq:                                     Obs per group:
  within = 0.2394                          min =          1
  between = 0.5370                         avg =          5.6
  overall = 0.5455                          max =          10

corr(u_i, X) = 0 (assumed)                 Wald chi2(3)    =     1115.86
                                              Prob > chi2     =       0.0000

```

| tq      | Coef.     | Std. Err.                         | z     | P> z  | [95% Conf. Interval] |  |
|---------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------|--|
| t1      | 27634.64  | 827.7314                          | 33.39 | 0.000 | 26012.32 29256.96    |  |
| aprice  | .0037733  | .003168                           | 1.19  | 0.234 | -.0024359 .0099824   |  |
| under   | -207612.2 | 34329.24                          | -6.05 | 0.000 | -274896.3 -140328.1  |  |
| _cons   | -17639.01 | 34730.41                          | -0.51 | 0.612 | -85709.37 50431.34   |  |
| sigma_u | 689621.15 |                                   |       |       |                      |  |
| sigma_e | 251302.49 |                                   |       |       |                      |  |
| rho     | .88277447 | (fraction of variance due to u_i) |       |       |                      |  |

| Variable | a            | b             |
|----------|--------------|---------------|
| t1       | 23890.119*** | 27634.639***  |
| aprice   | .00865813**  | .00377326     |
| under    | -162352.2*** | -207612.19*** |
| _cons    | 76373.341*** | -17639.013    |

legend: \* p<.1; \*\* p<.05; \*\*\* p<.01

Note: the rank of the differenced variance matrix (1) does not equal the number of coefficients being tested (3); be sure this is what you expect, or there may be problems computing the test. Examine the output of your estimators for anything unexpected and possibly consider scaling your variables so that the coefficients are on a similar scale.

|        | — Coefficients — |           |                     |                             |
|--------|------------------|-----------|---------------------|-----------------------------|
|        | (b)<br>fe        | (B)<br>re | (b-B)<br>Difference | sqrt(diag(V_b-V_B))<br>S.E. |
| t1     | 23890.12         | 27634.64  | -3744.52            | 443.6827                    |
| aprice | .0086581         | .0037733  | .0048849            | .0028511                    |
| under  | -162352.2        | -207612.2 | 45259.99            | 13213.52                    |

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg  
 B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(2) = (b-B)'[(V\_b-V\_B)^(-1)](b-B)  
 = 78.00  
 Prob>chi2 = 0.0000

```

Fixed-effects (within) regression                Number of obs   =      2,595
Group variable: num                            Number of groups =      464

R-sq:                                          Obs per group:
  within = 0.0020                               min =          1
  between = 0.0516                              avg  =         5.6
  overall = 0.0504                              max  =         10

corr(u_i, Xb) = -0.3097                       F(3,2128)      =      1.42
                                                Prob > F       =      0.2357

```

| pcq     | Coef.     | Std. Err.                         | t     | P> t  | [95% Conf. Interval] |          |
|---------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------|----------|
| t1      | -38.23191 | 38.57261                          | -0.99 | 0.322 | -113.8759            | 37.41204 |
| aprice  | -.000021  | .0001751                          | -0.12 | 0.905 | -.0003643            | .0003223 |
| under   | -2395.618 | 1510.811                          | -1.59 | 0.113 | -5358.439            | 567.2029 |
| _cons   | 14965.48  | 619.7358                          | 24.15 | 0.000 | 13750.13             | 16180.83 |
| sigma_u | 19313.184 |                                   |       |       |                      |          |
| sigma_e | 10517.641 |                                   |       |       |                      |          |
| rho     | .77126504 | (fraction of variance due to u_i) |       |       |                      |          |

F test that all u\_i=0: F(463, 2128) = 21.73                      Prob > F = 0.0000

```

Random-effects GLS regression                Number of obs   =      2,595
Group variable: num                            Number of groups =      464

R-sq:                                          Obs per group:
  within = 0.0002                               min =          1
  between = 0.1007                              avg  =         5.6
  overall = 0.0902                              max  =         10

corr(u_i, X) = 0 (assumed)                   Wald chi2(3)    =      19.18
                                                Prob > chi2     =      0.0003

```

| pcq     | Coef.     | Std. Err.                         | z     | P> z  | [95% Conf. Interval] |          |
|---------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------|----------|
| t1      | 124.7869  | 29.08364                          | 4.29  | 0.000 | 67.78405             | 181.7898 |
| aprice  | -.0000662 | .0001034                          | -0.64 | 0.522 | -.000269             | .0001365 |
| under   | -1790.898 | 1290.753                          | -1.39 | 0.165 | -4320.727            | 738.93   |
| _cons   | 9833.544  | 908.9663                          | 10.82 | 0.000 | 8052.003             | 11615.08 |
| sigma_u | 16812.406 |                                   |       |       |                      |          |
| sigma_e | 10517.641 |                                   |       |       |                      |          |
| rho     | .71872103 | (fraction of variance due to u_i) |       |       |                      |          |

| Variable | a            | b            |
|----------|--------------|--------------|
| t1       | -38.231906   | 124.78693*** |
| aprice   | -.00002098   | -.00006625   |
| under    | -2395.6179   | -1790.8985   |
| _cons    | 14965.477*** | 9833.5437*** |

legend: \* p<.1; \*\* p<.05; \*\*\* p<.01

Note: the rank of the differenced variance matrix (1) does not equal the number of coefficients being tested (3); be sure this is what you expect, or there may be problems computing the test. Examine the output of your estimators for anything unexpected and possibly consider scaling your variables so that the coefficients are on a similar scale.

|        | Coefficients |           | (b-B)<br>Difference | sqrt(diag(V_b-V_B))<br>S.E. |
|--------|--------------|-----------|---------------------|-----------------------------|
|        | (b)<br>fe    | (B)<br>re |                     |                             |
| t1     | -38.23191    | 124.7869  | -163.0188           | 26.14553                    |
| aprice | -.000021     | -.0000662 | .0000453            | .0001442                    |
| under  | -2395.618    | -1790.898 | -604.7195           | 824.8204                    |

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg  
 B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(2) = (b-B)' [(V\_b-V\_B)^(-1)] (b-B)  
 = 41.21  
 Prob>chi2 = 0.0000