

차 례

결과보고서 요약문

2018년 통일기반구축 사업 결과보고서

1. 사업 내용

- 1) 당초계획
 - 개요
 - 추진배경 및 목적
 - 기본방향
 - 기대효과
 - 일정별 추진 세부계획
 - 참여인력
- 2) 실제추진 현황
- 3) 사업 내용별 운영 성과
 - 사업성과
 - 관련분야 기여도

2. 예산

- 1) 예산 계획
- 2) 실제 예산 집행

3. 자체평가 및 건의사항

- 1) 자체평가
 - 사업평가
 - 미흡한 점(한계) 및 개선(보완)할 점
 - 향후 계획(내년 계획)
- 2) 건의사항
 - 사업 진행 관련
 - 예산 편성 및 집행 관련
 - 기타

4. 관련자료

- 대표적 사업 실적

결과보고서 요약문

사업기관	에너지자원신기술연구소		
사업명	북한 구리광산에 대한 투자·개발 전략 연구		
사업책임자	성명	소속	직위
	송재준	에너지자원신기술 연구소	소장 (교수)
사업기간	2018.4.1.~2019.2.28	사업비	

1. 사업목표

- 본 연구 사업에서는 투자 가치가 높은 북한의 구리광산을 선정하고 사업의 경제성을 분석한다. 특히, 경제적인 여건이나 환경의 변화로 인한 광산의 경제성 변화를 파악하기 위해 민감도 분석을 수행한다. 또한, 광산 개발 과정에서 발생할 수 있는 산사태나 홍수 등 지질재해를 평가하기 위해 공간분석을 수행하고 이를 데이터베이스로 구축한다. 이와 더불어, 전력 부족으로 생산에 차질을 겪고 있는 북한 광산의 여건을 고려하여 태양광 발전단지 도입의 가능성을 분석하고 발전량을 예상한다. 이를 통해 향후 북한 광산 개발 협력을 위한 기초 자료로서 활용하고자 한다.

2. 사업의 내용

- 본 연구 사업에서는 북한의 구리 광산 중 최대 규모인 혜산 광산을 연구 대상으로 선정하였다. 혜산 광산은 현재 가행 중인 광산이기 때문에 투자의 잠재성이 크다고 판단되지만, 북한의 특수한 경제적, 정치적 상황과 정보의 폐쇄성으로 인해 투자의 확실성은 보장하기 어렵다. 따라서 기본 가정에 의해 혜산광산의 경제성을 평가하였으며, 불확실한 정보의 변동이 광산 개발의 경제성에 미치는 영향을 파악하기 위한 민감도 분석을 수행하였다. 또한, 광산 개발의 잠재적인 위험요소인 산사태와 홍수의 위험성을 평가하여 인프라 구축 시 발생할 수 있는 위험을 줄이고자 하였다. 마지막으로는 광산 운영에 있어 필수적인 전력 공급을 위해 광산 주변의 태양광 발전단지의 잠재적인 부지와 예상 발전량을 GIS 분석을 이용해 평가하였다.

3. 사업의 성과

- 북한 혜산광산의 경제성 평가를 수행한 결과, 운흥제련소와 인프라시설 투자비용을 분담하는 기본 가정 상황에 대하여 내부 수익률 37.3%, 순현재 가치 US\$ 393,567,000인 것으로 평가되었으며, 사업 경제성이 매우 높은 것으로 분석되었으나 매장량, 광석 품위 등의 추정을 위한 현지자료가 불충분하므로 추후 현지 조사자료 보완을 통해 추가적인 경제성 평가가 후행되어야 할 것으로 판단된다.

- 혜산광산 경제성 영향인자에 대해 민감도 분석을 수행하고 민감도 크기에 따라 내림차순으로 정렬한 결과, 내부수익률 민감도는 금속가격-광석품위-초기투자비-운영비 순서인 것으로 분석되었으며, 금속가격, 광석품위, 초기투자비에 비하여 운영비용의 민감도가 다소 낮게 도출되었다. 순현재가치 민감도는 금속가격-광석품위-운영비-초기투자비 순서인 것으로 분석되었고, 금속가격과 광석품위의 민감도는 초기비용과 운영비용의 민감도 수준의 약 3배 가량인 것으로 도출되었다. 이에 따라, 사업 추진 여부와 최적의 투자시기를 결정하기 위해서 금속가격과 광석품위 변동에 따른 수익성 변화를 면밀히 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

- 고해상도 위성영상을 통해 혜산 광산 주변의 산사태 발생 지점을 파악하였으며, 빈도비 분석 방법을 적용하여 산사태 위험도를 평가하고 산사태 위험지도를 제작하였다. 또한, 주변 하천의 범람과 강우 시 물의 흐름량 등을 고려하여 광산 주변의 홍수 위험지역을 평가하고 이를 지도로 제작하였다. 이러한 산사태 및 홍수 등 지질재해의 위험도는 광산 주변의 인프라를 구축할 때 참고자료로 활용될 수 있다.

- 전력 부족으로 인해 운영의 어려움을 겪고 있는 혜산 광산의 전력난을 해결하기 위한 방법의 일환으로 태양광에너지의 잠재성을 평가하였다. 일사량, 경사도, 토지이용, 도로 및 철도와의 거리 등 다양한 공간 인자를 복합적으로 고려하여 광산 주변의 태양광 발전 부지를 선정하였다. 선정된 부지 중 광산으로부터 가까우면서 면적이 가장 넓은 발전부지의 경우, 31.6 MW 용량의 전력을 생산할 수 있을 것으로 보이며, 이는 광산 전체의 소비전력의 약 86%를 공급할 수 있는 양으로 추정된다.

에너지자원신기술연구소

1. 사업 내용

1) 당초계획

개요

- 사업명: 북한 구리광산에 대한 투자·개발 전략 연구
- 기관명: 에너지자원신기술연구소
- 총 사업비:

추진배경 및 목적

- 추진배경
 - 산업 전반에 걸친 활용가치가 높은 구리 광물이 상당량 매장되어 있는 북한의 구리광산에 대한 경제성 평가 및 인프라 시설의 구축 가능성 평가
- 목적
 - 투자가치가 높은 북한의 구리 광산을 선정하여 경제성을 분석하고 재해 위험성과 태양광에너지 잠재성을 평가함으로써 광산의 효율적인 개발 전략 연구

기본방향

- 접근 가능한 자료를 통해 북한의 구리광산 중 매장량이 많고 투자 가치가 높다고 판단되는 광산을 선정하여 경제성을 평가하고 각 평가 인자에 대해 민감도 분석을 수행함으로써 향후 투자 시 참고할 수 있는 데이터베이스 구축.
- 광산 주변의 산사태와 홍수 등의 지질재해 발생 가능성을 평가하고, 부족한 전력 공급을 위한 대안으로 태양광에너지의 활용 가능성을 평가함으로써 효율적인 광산 인프라를 구축하기 위한 기초연구 수행.

기대효과

- 북한 내 구리광산 투자 전략 수립을 위한 선행 기초연구로서, 추후 실제

사업 추진 여부 및 최적 투자 방안 결정을 위한 참고자료로 이용

- 접근이 불리한 북한의 구리 광산의 지질재해 위험지도, 태양광 발전부지 평가를 공간분석을 통해 수행함으로써 남북 광물자원 개발 협력에 참고할 수 있는 데이터베이스로 활용
- 북한 구리 광산에 대한 전략적 투자 방안을 제안함으로써 남북 교류 협력의 활성화 및 민간기업의 동반진출 효과 유발

□ 일정별 추진 세부계획

일 정	추진 내용
2018.4 ~ 2018.6	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 문헌을 대상으로 북한 구리광산 정보 수집
2018.7	<ul style="list-style-type: none"> • 연구대상 광산 선정 (혜산광산) • 광산 관련 세부 정보 수집
2018.8	<ul style="list-style-type: none"> • 경제성 평가 기본 가정 수립을 위한 광산 현황 및 각종 동향 파악 • 광산 주변의 위성영상 등 공간자료 수집
2018.9	<ul style="list-style-type: none"> • 기본 가정에 의한 경제성 평가 실시 • GIS 기반의 빈도비 분석을 이용한 광산 주변의 산사태 위험도 평가
2018.10	<ul style="list-style-type: none"> • 민감도 분석을 위한 평가 항목의 변동 범위 설정 • 수계 분석을 이용한 홍수 위험성 평가
2018.11	<ul style="list-style-type: none"> • 민감도 분석 수행 • GIS 분석을 이용한 태양광 발전 부지 평가 및 발전량 예측
2018.12 ~ 2019.2	<ul style="list-style-type: none"> • 전문가 자문을 통한 연구 추후 발전 방향 논의 • 연구결과 정리 및 최종보고서 작성

2) 실제추진 현황

□ 헤산광산 경제성 평가 및 민감도 분석 추진 결과

- 기본 가정 상황에 대한 헤산광산 경제성 평가 결과, 인프라 시설 투자비용을 운흥제련소와 분담 시 내부수익률 37.3%, 순현재가치 US\$ 393,567,000으로 분석되었음.
- 민감도 분석을 수행한 결과 헤산광산의 내부수익률과 순현재가치에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 금속가격과 광석품위인 것으로 나타남.
- 수익성 극대화를 위해 실제 사업 추진 시 금속가격과 광석품위 변화에 따른 경제성 변화를 면밀히 분석하여 투자시기, 생산량, 판매량 등을 신중히 조절할 필요가 있을 것으로 판단됨.

□ 헤산광산 지질재해 위험도 평가

- 고해상도 위성영상으로부터 광산 주변에 산사태가 발생했던 것으로 보이는 영역을 추출하고 이를 인벤토리 맵으로 제작함. 경사도, 곡률 등 다양한 공간 인자들과 산사태 발생 간의 관계성을 파악하기 위해 빈도비 분석을 수행함. 분석에 필요한 공간인자들은 ASTER GDEM 수치지형도, Open Street Map의 수계정보 등 무료로 제공되는 자료를 활용하였음.
- 산사태 분석 결과, 광산 주변에 직접적인 산사태나 사면 붕괴의 위험성은 적은 것으로 보이나, 광산 제반 시설들의 서쪽에 위치한 사면은 상대적인 산사태 위험성이 큰 것으로 보임.
- 광산의 홍수 피해를 효과적으로 대비하고자 광산 주변의 홍수 피해가능성을 평가함. 수치표고모델을 이용하여 지표수의 누적 흐름량이 많은 지점을 파악했으며, 현재 수계에서 수위가 상승할 경우 범람으로 인한 침수 피해 지역을 파악하였음. 그 결과 광산 주변 시내의 주거 및 산업지역의 침수 가능성이 클 것으로 예상됨.

□ 헤산광산 태양광 발전부지 및 발전량 평가

- 헤산광산의 전력난을 극복하기 위한 방안으로 태양광 발전시설을 설치할 때 적합한 발전부지와 예상되는 발전량을 산출하였음.

- 기상데이터와 수치표고모델을 이용한 그림자 분석을 통해 광산 주변에 41도의 경사로 태양전지를 설치하였을 때의 일사량을 계산함.
- 일사량, 토지이용, 지형 등의 공간자료를 복합적으로 고려하여 태양광 발전시설의 적합 부지를 분석함. 잠재적인 태양광 발전 부지 중 가장 큰 부지에는 약 31.6 MW 규모의 발전단지를 건설할 수 있을 것으로 보이며, 연간 36 GWh의 전력을 생산할 수 있을 것으로 예상됨. 이는 계산 광산의 운영에 필요한 전력의 약 86%에 해당하는 양으로 추정됨.

3) 사업 내용별 운영 성과

□ 계산광산 경제성 평가 및 민감도 분석

- 불확실성이 큰 북한의 여러 상황적 요소들을 고려하여 최대한 보수적인 관점에서 기본 가정을 수립하고 경제성 평가를 수행하여 계산광산의 내부수익률과 순현재가치를 산출하였음.
- 북한 계산 구리광산 경제성 평가 자료 1건, 민감도 분석 자료 1건을 작성하여 데이터베이스로 구축하였음.
- 해외사례분석을 통해 복합광물 광석에 대한 경제성 평가 방법을 연구하여 구리, 연, 아연 정광 내 유가금속 성분별 지급률 및 페널티 적용기준 1건을 제시하였음.
- 북한 계산 구리광산 경제성 평가에 관한 연구로 국내 학술지 논문 1건을 게재하였음(예정).

□ 계산광산 지질재해 위험성 평가

- 계산 광산 주위의 위성영상과 수치표고모델, 수계 등의 공간정보를 수집하고 데이터베이스를 구축하였으며, 산사태 위험지도 1건과 홍수 위험지도 1건을 제작하였음.
- 해당 성과는 향후 광산 주변의 인프라 시설을 구축할 때 산사태와 홍수 등의 지질재해의 위험도를 고려함으로써 광산 투자와 개발의 리스크를 줄이는 데 유용하게 활용될 것으로 기대됨.

□ 계산광산 태양광 발전 잠재성 평가

- 기상자료와 수치표고모델을 이용하여 계산광산의 태양광 발전부지와 예

상 발전량 등 태양광에너지의 잠재성을 평가하였으며, 일사량 지도 1건, 태양광 발전부지 입지 분석지도 1건을 작성함.

- 광산의 전력난을 해결하기 위한 방안으로 태양광 에너지의 잠재적인 가능성을 정량적으로 파악하여 연간 발전량, 광산의 전체 소비전력에서의 비율 등을 계산함.

□ 관련분야 기여도

- 해산 구리광산의 경제성 평가 자료는 북한의 룡양 마그네사이트 광산, 무산 철광산, 검덕 아연광산의 경제성 평가 결과와 함께 에너지자원신기술연구소의 북한 광산 데이터베이스에 저장되어 향후 북한 광산 투자·개발 시 기초자료로 활용될 수 있음.
- 광산의 경제성 평가에 활용되는 주요 요인들의 우선순위를 미리 파악함으로써 향후 해산 구리광산 투자 시 투자결정의 신속성 및 유연성을 확보할 수 있음.
- 해산광산 주변의 공간자료를 GIS 데이터베이스로 구축함으로써 향후 해산광산 인근 지역의 공간분석에 활용 가능함. 구축한 데이터베이스는 광업 분야뿐만 아니라 북한의 농업, 산림 전반에 걸쳐 활용할 수 있음.
- 광산 주변의 지질재해 위험도를 사전에 평가함으로써 재해에 효과적으로 대비할 수 있으며, 광산의 인프라 시설을 구축하거나 광산을 운영하는데 참고자료로 활용할 수 있음.
- 광산 주변에서 적절한 태양광 발전 부지를 선정하고 해당 부지를 통해 얻을 수 있는 발전량을 예측함으로써 태양광에너지를 이용한 광산의 전력 공급에 기초자료로 활용할 수 있음.

2. 자체평가 및 건의사항

1) 자체평가

□ 사업평가

- 사업의 적절성
 - 국내 광산물의 자급률은 8% 정도에 불과하며, 이 중 금속광의 자급률은

0.5% 미만으로 수요의 대부분을 수입에 의존하고 있음. 특히 산업 전반에 걸쳐 철 다음으로 많이 사용되는 광물인 구리는 수요가 증가하고 있지만 국내에서는 거의 생산되지 않아 국제 자원시장의 가격 및 수급 상황의 변화에 취약함. 구리의 불안정한 가격 변동으로 인한 국내 경제의 불안요소를 줄이기 위해서는 구리의 안정적인 수급이 필수적임.

- 남한에 비해 광물자원 매장량이 많은 북한의 광산 개발에 협력하고 북한의 광물자원을 수입할 수 있다면 수송거리 측면에서 장점이 있으므로 시장 불안에 신속하게 대처하고 수급 안보를 제고할 수 있음. 특히, 구리는 국내 산업에서 중요한 역할을 하는 광종이므로 남북 자원개발 협력의 잠재성이 큼.
- 북한 광산 주변에서의 지질재해 위험성을 평가한다면 향후 남북한의 광물자원 교류 협력 시에 광산의 개발 과정에서 예상되는 위험이 감소될 수 있음.
- 북한은 방문을 통한 현장 조사가 어렵고 자료를 구하는 데 한계가 있으므로, 취득 가능한 위성영상 등의 공간정보를 활용하여 GIS 분석을 적용하는 것이 효과적임. 이러한 위성영상과 GIS를 이용한 간접적인 분석 방법을 통해 북한 광산에 대한 의미 있는 정보를 경제적, 효율적으로 생산해낼 수 있음.
- 북한의 광산들은 전력 부족으로 인해 광산 운영에 막대한 차질을 겪고 있으므로, 태양광 발전시설은 이러한 전력난을 해결하고 광산의 생산량을 증대시키는 데 기여할 수 있음. 따라서 광산 주변의 태양광 발전시설의 입지 조건을 평가하고 발전량을 예측하는 것은 광산 운영 계획을 세우는 데 활용할 수 있는 기초자료로서의 가치가 큼.
- 광업 분야에서 남북 간 교류가 활발하지 않아 광산정보 수집이 단편적으로 이뤄짐. 따라서 경제성평가를 위한 정확한 정보수집이 불가능한 경우 합리적 가정이 필요함.
- 공간자료의 경우 현장에서 획득한 자료의 부재로 인해 이를 대체하기 위한 위성영상 등의 자료에 의존함에 따라 향후 현장 조사가 가능해진다면 연구 결과를 검증하는 과정이 추가적으로 필요함

○ 사업의 효율성

- 광산의 경제성 평가를 수행하기 위해서는 많은 비용과 시간이 필요함. 제약 사항 속에서 계산 구리광산의 경제성을 평가하기 위하여 다양한 문헌을 통해 정보를 수집한 후 기본가정에 따른 경제성을 평가함. 이를 통해 가장 합리적인 결과를 도출함.
- 북한의 광산 주변의 정확한 재해 발생 정보나 공간자료를 획득하기 어려우므로 무상으로 제공되는 위성영상과 수치표고모델을 활용하여 지질재해 위험성 파악을 위한 GIS 분석을 수행함. 이를 통해 적은 비용으로 광산 주변 지역에

대한 상대적인 지질재해 위험도를 파악.

- 위성영상 자료와 수치표고모델 등의 자료를 활용하여 태양광 발전 부지를 간접적으로 파악하고 발전량을 예측함으로써 광산 운영에 있어 신재생에너지의 잠재적인 가능성을 확인함.

○ 사업의 영향력

- 경제성 있는 북한의 구리광산을 대상으로 한 교역과 투자가 확대된다면 우리나라는 자원을 안정적으로 공급받을 뿐만 아니라 기존의 자원 수입국에 투자 혹은 지출되던 금액이 북한으로 가게 됨으로써 북한의 경제개발을 지원하게 되는 효과 또한 볼 수 있음
- 변동성이 심한 구리 판매가격을 반영하여 경제성 분석을 수행함에 따라 추후 북한 지하자원 투자 시에 시장 현황 및 전망에 대한 충분한 점검이 필요한 것을 시사해 줌. 이는 통일 후 또는 남북협력 광산 개발 시 발생할 수 있는 무분별한 투자를 경계해야 함을 의미
- 북한 혜산광산 주변 지역의 산사태 위험도 평가 결과를 향후 광산 개발을 위한 인프라 구축의 참고자료로 활용함으로써 남북한의 광산 개발 협력을 활성화하는 데 기여할 수 있음. 또한 개발 협력 시에 합리적이고 효율적인 투자와 개발을 유도할 수 있음
- 북한 지역에 대해 적은 비용으로 취득 가능한 공간 자료를 활용하여 GIS 분석을 수행함으로써 북한 지역의 공간 분석의 당위성과 가능성 제시
- 혜산광산의 운영을 위한 전력수요량을 추정하고, 광산 주변에 태양광 발전 시설을 설치할 때 얻을 수 있는 잠재적인 발전량을 정량적으로 평가함으로써 북한의 전력난을 극복하기 위한 신재생에너지의 활용 가능성을 구체적인 수치로 제시하였음. 이는 향후 에너지, 전력 분야에서의 남북한 협력이나 통일 시의 에너지 분배와 공급에 있어서 신재생에너지의 활용 가능성을 평가하는 지표로 사용될 수 있음
- 경제성 평가를 위하여 문헌 이외에 직접적인 정보 수집이 가능해진다면 분석 결과의 신뢰도가 증가하고 이는 사업 영향력 증대로 귀결될 것임

○ 사업의 발전가능성

- 남한에 비해 북한에는 다양한 광물자원이 매장되어 있음. 본 연구소에서 현재까지 진행한 마그네사이트, 철, 아연, 구리 광산 이외에도 경제적인 가치가 큰 광종과 광산에 대한 지속적인 연구진행이 필요함.
- 북한 광산의 지질재해 위험성과 태양광 발전단지 잠재성을 분석함으로써 향

후 북한과의 자원개발 협력을 위한 기초자료로 활용할 수 있으며, 다양한 광산에 대한 정보를 종합하여 데이터베이스를 구축할 수 있음.

- GIS를 활용한 공간 분석은 광산은 물론 도시, 농업, 산림 전 분야에 걸쳐 적용 가능하므로 북한의 다른 지역에 다양한 용도로 적용해 볼 수 있음.
- 향후 북한 전역의 전력난을 극복하고 지속가능한 개발을 수행해 나가기 위한 방안으로 신재생에너지의 활용 가능성을 평가하고, 개발 계획을 수립하는 데 유용한 자료로 활용할 수 있음.
- 더욱 정확한 경제성 평가를 위해 광산에 대한 최신 정보가 필요하지만 폐쇄적인 북한 사회의 특성과 현 남북관계 등이 장애물로 존재.

□ 미흡한 점(한계) 및 개선(보완)할 점

○ 자료 취득의 한계 및 검증의 어려움

- 북한 광산운영 관련 자료의 작성 시기가 너무 오래되어 현재의 정확한 사정을 알 수 없고, 접근이 가능하도록 공개된 자료가 한정적이어서 자료수집 및 분석에 한계가 있음. 정부 부처와의 협력 등을 통해 비공개 자료의 취득이 가능하다면 경제성 평가 분석의 신뢰도를 향상시킬 수 있음.
- 위성영상을 활용하여 산사태 발생 지점을 파악했지만 현장 조사를 수행하기 어렵기 때문에 실제 산사태 발생 여부의 확인이 어려움. 향후 남북 관계가 발전하여 현장 방문을 통한 자원 개발 협력이 가능해진다면 현장조사를 통해 결과를 검증할 수 있음. 태양광 발전 부지 선정에 있어서도 현장 방문이 가능해진다면 더 구체적인 입지 여건을 파악할 수 있을 것임.
- 30m의 공간해상도를 가지는 수치표고모델을 통한 분석은 정밀한 분석이 어렵기 때문에 향후 높은 해상도의 고도자료나 지질도 등 정밀한 자료가 공개되거나 취득 가능해진다면 정밀한 분석이 수행 가능할 것으로 보임.

□ 향후 계획(내년 계획)

○ 북한 주요 광산 시설 규모 분석

- 북한 뉴스, 도서, 간행물 등의 분석을 통해 북한 주요 광산의 시설 규모에 대한 자료 조사 및 데이터베이스 구축 연구를 수행할 계획임

2) 건의사항

□ 사업 진행 관련

- 지속적인 연구의 필요성
 - 10대 유망광종에 대하여 지속적인 연구 진행이 필요함.
 - 광종 별 대표 광산을 선정하고 각 광산에 대한 경제성 분석, 지질재해 위험성 평가 등을 추가적으로 수행해야 할 것으로 사료됨.
 - 이를 통해 부지불식간에 찾아올 수 있는 북한 지하자원 시장 개방과 광산 개발 협력에 대비할 수 있음.

예산 편성 및 집행 관련

- 없음

기타

- 없음

3. **관련자료**

대표적 사업 실적

- 해산광산 경제성 평가 자료
 - 해산광산 경제성 평가 자료 및 민감도 분석 자료를 서울대학교 에너지자원신기술 연구소 데이터베이스로 구축
- 해산광산 GIS 분석 자료
 - 해산광산 주변의 수치표고모델 등 기초적 공간자료
 - 산사태 위험지도, 홍수 위험지도, 태양광 발전부지 평가지도

기타 관련 실적

- 국내학술지논문
 - 한국자원공학회지, 제 55권 4호, pp. 259-271.
 - 신재생에너지, 제 14권 3호, pp. 44-53.
 - 북한 해산 구리광산 경제성 평가 연구 국내 학술지 논문 1건 (한국자원공학회지 2019년 2월호(예정))
- 국제학술대회발표
 - 2018 2nd International Conference on Solar Technologies and Hybrid Mini-Grids to improve energy access, 포스터발표, 2018. 10. 17.

○ 국내학술대회발표

- 2018 추계자원연합학술대회, 구두발표, 2018. 11. 8.
- 2018 통일기반구축연합학술대회 참석 및 발표, 2018. 11. 27.