

TECHNICAL NOTES

북한의 광업 및 암반공학 분야 최신 연구동향 분석

강일석¹, 박영상², 송재준^{3*}

¹서울대학교 에너지시스템공학부 박사과정, ²서울대학교 에너지자원공학과 학사과정, ³서울대학교 에너지시스템공학부 교수

Analysis of Recent Research Trend in the Mining Industry and Rock Engineering in North Korea

Il-Seok Kang¹, Young-Sang Park², and Jae-Joon Song^{3*}

¹Ph.D candidate, Department of Energy Systems Engineering, Seoul National University

²Undergraduate student, Department of Energy Resources Engineering, Seoul National University

³Professor, Department of Energy Systems Engineering, Seoul National University

*Corresponding author: songjj@snu.ac.kr

Received: February 6, 2020

Revised: February 24, 2020

Accepted: February 24, 2020

ABSTRACT

Recent research trend of North Korean mining and rock engineering in the past 10 years was analyzed by a literature review of mining and rock engineering papers published in North Korean major mining journals, 'mining engineering', 'geological and geographical science' and 'technology innovation' published in 2008-2017. Basic database was established by organizing bibliographic information and abstract data of research papers in each journal. For each journal, paper submission trend classified by research field was analyzed using the basic database. And further study was conducted to the papers which showed distinguishing methodology and result, to analyze the trend of North Korean mining and rock engineering. The literature study showed a recent trend of quantification and automation in mining and rock engineering researches in North Korea, which seems due to recent changes in North Korea's science and technology policy and deterioration of the mining conditions. The results of this study can be applied in the feasibility studies of North Korea's mineral resource development projects. Future inter-Korean technical cooperation and site survey on North Korean field can secure complement the reliability of this study.

Keywords: North Korea, Mining industry, Rock engineering, Mineral resources, Research trend

초록

본 연구에서는 최근 10여 년 간 북한 광업 및 암반공학 분야의 발전 동향 및 최신 연구현황을 파악하기 위해, 2008-2017년 기간 출판된 북한 내 광업 관련 주요 학술지인 '채굴공학', '지질 및 지리과학', '기술혁신'을 대상으로 광업 및 암반공학 분야 연구논문의 투고 현황 및 연구 방법론을 분석하였다. 먼저 각 학술지에 수록된 연구논문의 서지정보 및 초록 자료를 정리하여 기초자료 데이터베이스를 작성하였다. 그리고 작성한 기초자료 데이터베이스를 활용하여 연구 분야별 학술지 투고 경향을 분석하였으며, 그 방법론 및 성과가 뛰어나다고 판단되는 연구논문에 대한 추가조사를 수행하여 북한 광업 및 암반공학 분야의 동향을 분석하였다. 연구동향 분석 결과, 최근 북한의 과학기술정책 변동 및 광업환경의 악화에 따른 정량화·자동화 경향성을 확인할 수 있었다. 본 연구결과는 향후 북한 광물자원 개발 전략 수립 및 경제성 평가를 위해 활용 가능할 것으로 판단되며, 향후 남북 기술협력 및 북한 현지 조사를 통해 보완될 수 있을 것이다.

핵심어: 북한, 광업, 암반공학, 광물자원, 연구동향



1. 서론

북한 특유의 폐쇄적인 정치, 경제체제 및 1990년대 사회주의 국가들의 몰락과 핵무기 개발로 인한 외교적 고립, 고난의 행군으로 대표되는 장기적인 경제난에 따른 인프라 붕괴와 이에 따른 고부가가치 산업 육성의 실패로 인해, 북한의 경제적 위기는 1990년대 이후 지속적으로 악화되고 있다(석근우, 2016). 북한이 겪고 있는 이와 같은 경제적 위기상황 하에서, 북한이 보유하고 있는 풍부한 광물자원 매장량을 활용한 광업 생산물의 생산 및 수출은 북한의 외화 획득을 위한 주요한 창구가 되어 왔다. 기존 연구에 따르면 북한 내 부존광물의 종류는 약 220여 종에 달하는 것으로 보고된 바 있으며, 이 중 약 43개의 광종에 경제성이 있는 것으로 분석되고 있다(Yoon and Song, 2019). 북한의 광종별 광물자원 매장량은 산출 근거의 불명확성으로 인해 조사 기관별로 결과에 편차가 존재하나, 석탄 등 연료자원과 철, 동, 아연 등 금속자원의 경우 남한에 비해 10에서 100배 이상의 매장량이 부존하는 것으로 알려져 있다(한국광물자원공사, 2011, I-RENK, 2019, Chung, J., 2019). 통계청의 ‘2018 북한의 주요통계지표’에 따르면, 2017년 기준 북한의 광업 경제규모는 약 4조 2,660억 원으로 동년도 북한 총 경제규모 30조 8,820억 원의 약 13.81%를 차지하였으며, 이는 약 2조 2,620억 원의 남한 광업 경제규모와 비교하여도 우위를 가지는 수치이다. 또한, 2017년 기준 북한의 대외 수출액 비중에서 석탄, 원광 및 광물 가공품 등 광물자원 관련 상품 수출액이 북한 전체 수출액의 약 39.1%에 달하는 것으로 조사되었다(통계청, 2019). 이와 같은 북한 광업의 상당한 경제규모와 수출 비중으로 볼 때, 광업은 북한 경제의 근간이 되는 매우 중요한 산업분야로 간주할 수 있다.

그러나 북한 내 광업의 높은 중요성 및 잠재성에도 불구하고 남한을 비롯한 외부 자본에 의한 북한 광물자원 개발 투자는 유의미한 성과가 존재하지 않는 상황인데, 이는 북한 체제의 정치, 경제적 리스크와 더불어 북한의 인프라, 기술력 부족으로 인한 수익성 저하로 인해 외부 자본의 유입이 이루어지지 않기 때문으로 분석된다(김유동 외, 2005). 특히 북한 광물자원 개발 사업의 경우, 북한의 외국인 투자법에 따라 외부 자본의 직접적인 경영 참여는 거의 불가능하며, 자본 및 설비제공을 통한 지분참여 비율에 따라 일정량의 광물 취득 권리를 획득하는 방식을 취하는 경우가 일반적이다(Lim, 2014, Chung, W., 2019). 따라서 북한 광물자원에 대한 개발계획 수립 및 경제성 판단 시, 일반적인 광물자원 개발사업 관련 평가요소 외에도 북한 내 투입 가능한 자본 및 설비에 대한 정량적인 분석과 함께 북한의 기술 및 연구수준에 대한 합리적인 평가 및 이해가 필수적으로 요구된다고 할 수 있다.

이 연구에서는 향후 대북 광물자원 개발 사업에 대한 현실적인 투자 가이드라인 수립을 위한 기초연구로 최근 10년 간 진행된 북한의 광업 및 암반공학 분야 연구의 발전 동향 및 최신 현황을 분석하고자 하였다. 폐쇄적인 북한 체제와 최근 불안정한 남북 관계를 감안할 때 북한 내 암반공학 분야 연구동향의 직접적인 분석은 현실적으로 큰 어려움이 있으므로, 본 연구에서는 현재 진행 중인 북한 광업관련 주요 학술지인 ‘채굴공학’, ‘지질 및 지리과학’, ‘기술혁신’에 수록된 광업 및 암반공학 분야 연구논문을 활용하여 북한의 연구동향을 간접적으로 파악하고자 하였다.

2. 북한의 광업 관련 학술지 기초조사

2011년 김정일 사후 북한의 실권을 장악한 김정은은 기존 북한의 선군정치에 기초한 강성국가 건설노선과는 달리, ‘과학기술에 의한 지식경제 육성’을 강조하며 연구개발체계 개편 및 과학기술자 우대정책을 수행하는 등 북한 내 과학기술 육성의 중요성 및 필요성을 역설하고 있다(변상정, 2011, 이춘근과 김종선, 2015, 이춘근 외, 2015). 북한의 광업 및 암반공학 분야 역시 김정은 정권의

지식경제육성 기조에 따라 기존 경험론에 입각했던 연구 방향성과는 달리 다양한 연구 분야에서 정보화·자동화 방향성을 따르는 연구논문의 게재 빈도가 유의미하게 증가하고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 최근 북한 과학기술정책 변화에 따른 광업 및 암반공학 분야의 발전 동향 및 최신 연구현황을 보다 정확하게 파악하기 위해, 국내에서 열람 가능한 북한 광업관련 주요 학술지의 수록논문을 대상으로 기초 문헌조사를 수행하였다.

2.1 조사대상 학술지 선정

2.1.1 채굴공학 (Mining engineering)

‘채굴공학’은 북한 과학백과사전출판사(전 과학기술출판사)에서 연 4회 발행하는 광업 전문 학술지로, 1965년 8월 창간되어 2019년 9월 기준 누계 225권이 발행된 북한의 주요 광업 학술지이다. ‘채굴공학’은 암석역학에 기초한 채광계획 설계, 발파 및 타격파쇄이론, 채광장비 개발 및 개선, 노천 및 지하광산의 채광장 안정성 분석, 각종 암반 시험법 및 수치해석 기법 연구 등 광업 및 암반공학 분야의 다양한 연구주제에 대한 학술논문 및 연구 자료를 매 권 약 15편씩 수록하고 있다.

2.1.2 지질 및 지리과학 (Geologic and geographic science)

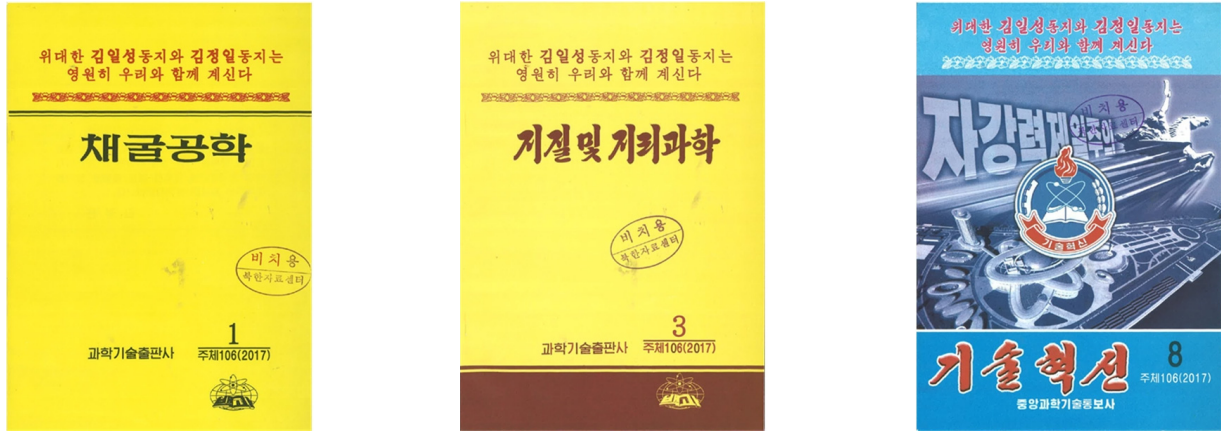
‘지질 및 지리과학’은 북한 과학백과사전출판사(전 과학기술출판사)에서 연 4회 발행하는 지질학 및 지리학 분야 학술지로, 1960년 8월 창간되어 2019년 9월 기준 누계 275권 발행되었다. ‘지질 및 지리과학’은 암반과 광체의 지질학적 특성 및 물리·화학적 성인과 조성 분석, 원격탐사자료 및 위성화상자료를 활용한 지리분석 등 지질·지리학적 연구주제를 주로 다루고 있으며, 광업 및 암반공학 분야의 경우 시추 및 원격탐사를 활용한 광체의 부존특성 분석 및 광체의 3차원 모형화, 광체의 탐사기법 개선, 탐사장비 개발과 관련된 연구논문을 수록하고 있다.

2.1.3 기술혁신 (Technical innovation)

‘기술혁신’은 1955년 10월 창간하여 북한 중앙과학기술통보사에서 연 12회 발행하는 혁신기술 관련 학술지로, 2019년 기준 누계 734권 발행되었다. ‘기술혁신’은 농업·수산·화학·기계·금속·전기·건설·경공업·수송·보건 등 북한 내 다양한 산업 분야의 혁신기술을 소개하고 있으며, 이론적 접근보다는 새로운 공법 및 장비의 개발·개선 등 현장 중심의 혁신기술 위주의 연구논문을 수록하고 있다(이춘근 외, 2015). 광업 및 암반공학 분야 연구동향의 경우, ‘기술혁신’ 내 ‘채취’ 소분류로 항목을 나누어 매 권 평균 5-7편의 연구논문을 수록하고 있다.

2.2 수록 논문 기초조사결과 정리

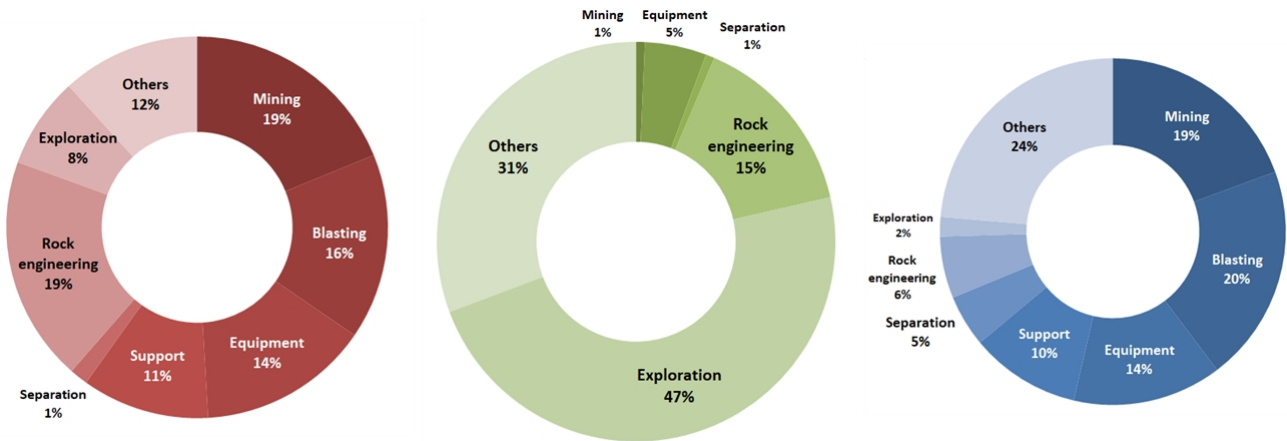
본 연구에서는 북한의 최근 10여 년 간의 연구동향을 분석하기 위해, 2008-2017년 기간 동안 발간된 채굴공학, 지질 및 지리과학, 기술혁신 학술지 200권을 조사 대상으로 한정하였다(Fig. 1). 조사대상 학술지 수록논문 중 광업 및 암반공학 분야와 직접적인 관련이 있는 것으로 판단되는 연구논문의 서지정보 및 핵심어, 연구요약문, 연구결과 등 기본정보를 정리하여 기초 문헌조사 자료를 작성하였다. 기초 문헌조사 결과 채굴공학 324편, 지질 및 지리과학 140편, 기술혁신 330편으로 총 794편의 광업 및 암반공학 관련 연구논문에 대한 데이터베이스를 작성하였다.



(a) Mining engineering (b) Geologic and geographic science (c) Technology innovation

Fig. 1. Major mining and rock engineering journals in North Korea

작성한 기초 문헌조사 데이터베이스를 바탕으로, 조사한 794편의 광업 관련 연구논문을 세부 연구 분야에 따라 채광·발파·장비·지보·선광·암반·탐사의 7종류로 분류하였다. 이는 북한의 과학기술정책 변화에 따른 논문 투고경향 및 연구경향의 미시적 변동을 분석하기 위함이며, 세부 연구 분야별 분류기준 및 학술지 별 연구논문의 세부 연구 분야 분류 결과는 Fig. 2 및 Tables 1 and 2에 나타내었다. 각 세부 연구 분야별로 시대별 연구 발전 동향 및 최신 연구현황을 분석하였으며, 이 중 채굴공학 36편, 지질 및 지리과학 21편, 기술혁신 32편의 연구논문에 대해 구체적인 연구 주제 및 연구 방법론, 정량적 연구 수행결과에 대한 추가적인 세부조사를 수행하였다.



(a) Mining engineering (b) Geologic and geographic science (c) Technology innovation

Fig. 2. Percentage of research papers submitted for each research topic in each journal

Table 1. Details of research category classification for the papers published in mining journals

Categories	Detailed information of each categories
Mining	Development and improvement of mining method, planning and designing of mining pattern Improvement of mining production and efficiency, and other mining related researches
Blasting	Design of blasting holes and charging pattern, delayed blasting, detonation cord circuit Improvement of explosives, detonator, detonating cord, and other blasting related equipments
Equipment	Development and improvement of mining equipments such as boring, excavation, and drilling machines Analysis of optimum operation condition of mining equipments
Support	Stability analysis of open pit and underground mine and support design
Separation	Mechanical classification and separation methods and equipments of excavated ores (Researches related with chemical separation are not included)
Rock engineering	Analysis of rock mass properties and behaviors by laboratory tests or numerical simulations Development and improvement of rock testing methods and equipments
Exploration	Exploration of ore body and geological characteristics of rock mass Remote sensing researches by using GIS, aerial photograph, and stereophotogrammetry
Others	Researches which are not directly related to mining and rock engineering field

Table 2. The number of research papers submitted for each research topic in each journal

	Mining	Blasting	Equipment	Support	Separation	Rock engineering	Exploration	Others	Total
Mining engineering	61	51	47	35	5	62	25	38	324
Geologic and geographic science	1	0	7	0	1	21	67	43	140
Technology innovation	64	67	46	34	16	19	6	78	330
Total	126	118	100	69	22	102	98	159	794

Fig. 2 및 Table 2에는 각 학술지 별 연구논문의 세부 연구 분야 비율 및 수를 나타내었다. ‘채굴공학’ 학술지의 경우 선풍 분야를 제외한 다양한 세부 연구 분야에 걸쳐 고른 연구주제 분포 경향을 보였으며, 분석 대상 기간의 초기에는 채광, 발파, 장비 관련 연구 논문이 주로 발표되었던 것과는 달리 2010년대 후반에 들어 수치해석 등을 활용한 지보, 암반 관련 연구논문의 게재빈도가 증가함과 동시에 발파, 장비 관련 연구논문의 게재횟수가 급격하게 감소하였다. 이와 같은 채굴공학 학술지의 연도 및 세부 연구 분야별 투고 비율을 Fig. 3에 나타내었다. ‘지질 및 지리과학’ 학술지의 경우 광물자원 탐사 관련 연구논문이 높은 비율을 차지하였으며, 최근 들어서는 기존 석탄광 및 금속광 탐사 외에도 희토류 등에 대한 탐사연구가 활발히 진행되었다. ‘기술혁신’ 학술지의 경우 채굴공학 학술지와 대체적으로 유사한 연구논문 투고 경향성을 보였으나, 현장기술을 주로 수록하는 기술혁신 학술지 특성 상 암반공학 및 탐사 분야 연구논문의 비율이 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다.

3. 북한 광업 및 암반공학 분야 연구동향 분석

추가조사를 수행한 89편의 연구논문에 대한 세부 조사결과를 활용하여 북한의 광업 및 암반공학 분야 연구동향 변동 경향성을 분석하였다. 그 결과 북한의 체제 전환기인 2011-2012년 전후를 기점으로 뚜렷한 연구동향 변화가 확인되었다. 김정은의 집권 및

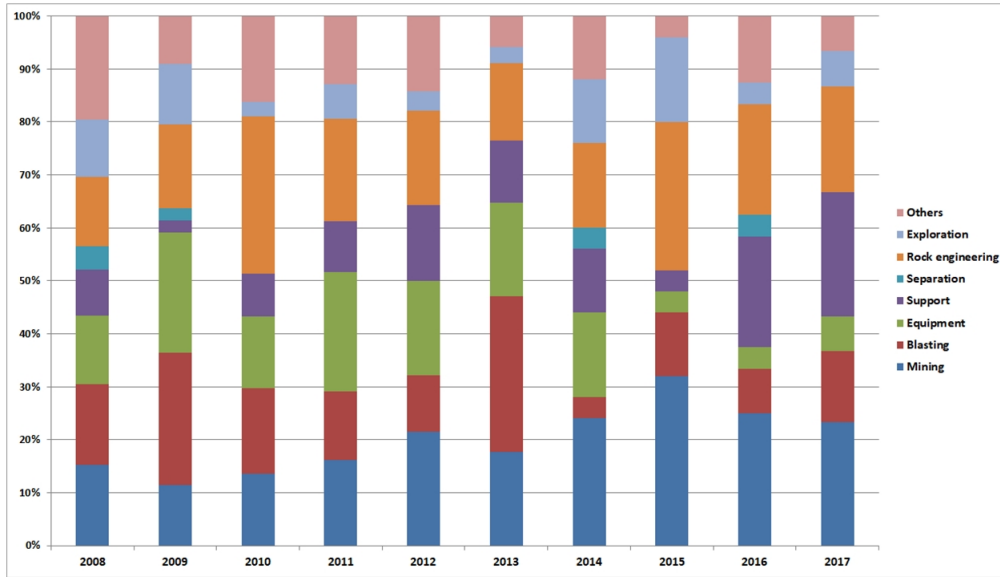


Fig. 3. Percentage of research paper topics submitted to Mining engineering in 2008-2017

체제 안정화 이전인 2012년도 이전 게재논문의 경우 기존 광산의 생산성 증대를 목표로 한 채광기술 및 장비 개선, 기존 광상의 부존광체 추가 탐사와 관련된 연구논문이 주로 게재되었다. 하지만 2010년 중반 이후 신규 광상의 탐사 및 개발에 초점을 맞춘 연구논문의 게재빈도가 조사 대상 학술지 전체적으로 증가하였으며, 암반의 거동분석 및 채광계획 설계, 발파패턴 결정과 같은 다양한 광업 분야에서 수치해석기법 및 자동화 설계기법을 활용하는 연구논문 역시 증가하는 경향성을 보였다. 이는 Fig. 3에 제시된 채굴공학 수록 연구논문 비율에서 2010년대 중반 이후 단순한 장비 개선 및 발파효율 개선 연구의 비율이 감소함과 동시에, 채광 계획의 자동화 및 수치해석기법을 활용한 암반의 거동 분석, 이를 활용한 광산 지보설계 관련 연구가 증가하는 추세를 통해 확인할 수 있다. 이러한 북한 광업 및 암반공학 분야의 최근 연구 동향은 김정은 체제에서 강조하고 있는 지식경제육성 기조를 반영함과 동시에, 최근 북한 광업의 문제점으로 대두되고 있는 기존 광맥의 고갈 및 품위 저하, 신규 광맥의 소형화 및 심부화, 생산 및 채광설비의 노후화로 인한 광산 생산량 감소와 같은 문제를 타개하기 위한 보다 합리적이고 정량적인 광산 개발계획 수립의 필요성이 증가하였기 때문으로 판단할 수 있다. 3.1 절 및 3.2 절에서는 정량적, 객관적인 연구 방법론을 활용함과 동시에 연구 성과가 뛰어나다고 판단되는 연구논문을 활용하여, 광업 전반 및 암반공학 분야에서 북한의 연구동향을 분석하였다.

3.1 광업 전반 연구동향 분석

북한의 채광 분야 연구동향의 경우, 분석기간 초기 기존 채광기법의 개선 및 최적화에 주력하였던 연구 방향성에서 최근 3차원 해석기법을 활용한 광체 매장량 평가 및 채광장 설계 등의 정량적인 연구 수행 방향성이 관측되고 있다. 안영범, 조천일(2009), 오창환, 리원철(2010), 장관철, 장춘근(2012) 등은 기존 채광중인 광체의 채광법(한방향계단붕괴식채단법, 전면붕괴식채광법)을 광산 조건에 맞게 최적화하여 채광장의 최적 높이, 갱도 간격, 갱도 길이를 결정하고 생산성 및 채취율을 증대시키는 연구를 수행하였으며, 홍근의, 리혁철(2016)은 복잡하고 불규칙적인 형상을 가지는 광체의 가채매장량 평가를 위해 3차원 광산 설계 소프트웨어 SURPAC을 활용한 크리깅(Kriging) 기법을 적용하여 광체의 3차원 블록모형을 작성하였다.

발파 분야 연구논문의 경우, 최지성, 김인봉(2015)은 수치해석 소프트웨어 LS-DYNA를 활용하여 n개의 발파공을 설치할 때 발

파공 별 주응력 크기의 편차를 최소화하여 파쇄효율 증대 및 파쇄입도 균일화 가능성을 분석하였다. 정진혁(2017)은 발파 설계 소프트웨어 JKSimBlast를 활용하여 발파공 배치 및 장약, 지체발파 시 기폭순서 및 지연시간 설계를 자동화하는 연구를 수행하였다. 특히 북한은 생산되는 폭약의 대부분이 군사용으로 활용되어 제한된 폭약을 효율적으로 활용하기 위한 발파효율 개선 연구가 활발하게 진행되었다.

채광 및 탐사장비의 개선을 위한 연구의 경우 분석기간 초기 기본적인 역학적 분석에 따른 이론적 접근법에서 최근에는 수치해석, 유전알고리즘 등을 적용한 다양한 해석적 방법이 도입되고 있다. 백기남(2013)은 4개의 천공팔을 가지는 천공장비의 최적 천공순서를 유전알고리즘을 활용해 분석하여 기존 천공방식에 비해 작업시간을 단축하였으며, 채명학, 심영택(2016)은 갱내 비저항 탐사장비의 탐사오차를 회귀식으로 정량화하여 비저항 탐사결과에 따른 광체의 3차원 영상화 정확도를 향상시켰다.

북한의 광산 안정성 관련 연구는 북한 광산의 심부화 및 소형화 경향에 맞추어, 보다 복잡한 구조의 대심도 광산에서 갱도의 안정성을 유지할 수 있도록 하는 광산 설계방안에 대한 연구가 주로 수행되고 있으며, 이를 위해 다양한 수치해석적 기법 또는 인공지능망을 활용하는 연구들이 최근 발표되고 있다. 박장혁, 변광남(2012)은 수치해석 소프트웨어 ABAQUS를 활용하여 채광장 잔주의 보강 필요성을 분석하였으며, 리태섭, 김은섭(2012)은 FLAC3D를 활용하여 무연탄 채굴 시 최적의 갱도 안정성을 확보할 수 있는 채탄갱도 굴착방식을 고찰하였다. 김은섭, 박대성(2015)은 광산 갱도의 유지보수 영향인자를 유전알고리즘을 활용해 분석한 뒤 이를 인공지능망을 통해 학습시켜 갱도유지를 위한 최적의 지보패턴 설계를 수행하였다.

탐사 분야 연구논문의 경우 시추 데이터 및 위성화상을 활용한 광체의 분포특성 추정 연구가 활발하게 진행되었으며, 2010년도 중반 이후 광산 현장 시추 데이터를 활용한 광체의 3차원 블록 모델링 및 이를 활용한 채광·탐사계획 수립과 관련된 연구가 증가하였다. 최승기, 강정석(2009)은 광체 분포지역을 0.2km 간격의 격자망 형태로 조사하여 해당 지역의 광체 부존특성을 정량화한 후 이를 탐사 대상지역에 적용하여 광체 탐사 정확도를 향상시켰다. 리성, 최명학, 전철만(2014)은 GIS 소프트웨어인 ArcView Avenue를 활용하여 채광중인 광체의 지질도에 따른 3차원 블록모델을 작성하고 이를 실제 광체 부존특성과 비교하였다.

3.2 암반공학 분야 연구동향 분석

북한에서 진행된 암반공학 분야의 연구는 주로 광업 생산성 향상을 목표로 수행되는 경우가 많았으며, 이를 위해 노천 및 지하광산의 채광효율 개선과 안정성 확보를 주요 연구주제로 하는 다양한 연구들이 발표되었다. 김경일, 리철진, 리룡길(2008)은 조사대상 지역의 단층구조와 지압특성간의 정량적 관계를 분석하기 위해 대상 지역 암석시료의 실내시험을 통해 암반의 물성값을 계산하였으며, 이를 가상변위법에 따르는 유한요소해석을 진행한 결과 분석된 응력 집중구역과 단층 발달지역이 일치함을 확인하였다. 김철룡(2009)은 암석의 소성변형 시 발생하는 강도약화특성을 암석의 응력-변형률 특성을 활용하여 분석하였으며, 소성변형 시 암석의 강도약화를 단축압축 시 암석의 균열발달로 인한 RMR지수 변동으로 해석하여 암석의 소성변형특성을 RMR지수 중 균열인자의 변동으로 정량화하여 표현하였다. 김영희, 리효원(2017)은 노천광산 경계부 암반의 안정성 분석을 위해 해당 암반의 불연속면 분포특성을 조사하였으며, 유전알고리즘 및 통계분석모형(RSM)을 활용해 불연속면의 방향 및 간격조건에 따른 해당 암반의 안정성을 확률적으로 분석하였다.

수치해석 기법을 활용한 암반공학 분야 연구 역시 북한의 많은 연구자들에 의해 수행되었으며, 다른 연구 분야에 비교할 때 김정은 체제 이전부터 수치해석적 방법론이 활발하게 사용되고 있음을 확인하였다. 리철영, 서원석(2008)은 유한요소 수치해석 소프트웨어인 COSMOS/M을 활용하여 광체 채광 시 발생하는 채광장 주변 암반의 응력변동을 계산하고 이에 따르는 파괴구역의 변동을 분석하였다. 김혁진, 최종수(2012)는 주방식 채광장 조건에서 잔주의 열 수와 잔주의 너비 및 높이, 갱도 폭 간의 비율에 따른 잔주

의 응력상태를 해석하기 위해 수치해석 소프트웨어 ABAQUS 및 Z-Soil을 활용하였으며, 분석 결과 잔주의 응력상태를 오차수준 3% 이내로 분석하였다. 황룡현(2013)은 복잡한 지반조건에서 갱도의 배치와 지압조건에 따르는 갱도의 안정성 변동을 분석하기 위해, COMSOL 소프트웨어를 활용하여 수직응력과 최대·최소 수평응력의 비율 1:2:1 조건에서 갱도의 굴착방향에 따른 갱도 측벽 응력수준 및 파괴영역을 분석하였다. 김초향(2016)은 복잡한 암반의 강도특성을 분석하기 위해 암반 구성 암종의 영률, 포아송비, 마찰계수, 점착력, 내부마찰각 및 팽창각 조건에 따르는 암반의 강도를 ABAQUS를 활용해 2차원 및 3차원 조건에서 분석하였으며, 이를 일반적으로 사용되는 해석적 방법론과 비교하였다. 또한 암반의 팽창각 조건에 따른 암반 강도의 변동을 분석하였다.

4. 결론

본 연구에서는 최근 급변하는 북한의 과학기술정책 추세를 적절하게 반영할 수 있는 북한 광물자원 개발 사업의 투자 가이드라인의 마련을 위한 기초연구로, 최근 10여 년 간 북한의 광업 및 암반공학 연구 동향을 분석하고 최신 연구현황을 파악하여 북한 광산의 경제성 평가 과정에서 활용 가능한 북한의 연구 현황을 분석하였다. 북한의 최신 연구 성과 및 해당 연구 성과의 산업현장 적용 현황을 직접적으로 파악하는 것은 제한적인 정보 취득만이 가능한 북한 체제의 실정상 현실적으로 불가능하므로, 본 연구에서는 북한의 광업 관련 주요 학술지에 수록된 연구논문에 기초하여 최근 연구동향을 간접적으로 추정하였다. 2008-2017년 기간 출판된 광업 및 암반공학 연구논문 794편의 기초 문헌조사 결과를 데이터베이스화 하였으며, 문헌조사 결과를 활용하여 Fig. 2와 같이 연구논문 별 세부 연구 분야를 분류하였다. 이후 추가 문헌조사를 통해 해당 연구논문들 중 학술지 및 세부 연구 분야별로 주요 논문을 선정하여, 총 89편의 연구논문의 세부 조사결과를 활용하여 북한의 광업 및 암반공학 분야 최근 연구동향을 분석하였다. 분석 결과, 북한의 광업 연구 분야 전반적으로 김정은 체제 수립에 따른 과학기술체계의 정보화·자동화 경향성이 나타나고 있는 것으로 분석되었다. 기존 수행되었던 채광법 및 광업 장비 관련 연구들이 경험적, 이론적 방법론에 기초한 접근 방식을 보여줬던 것과는 달리, 비교적 최근에 발표된 연구논문의 경우 수치해석 및 인공신경망 등 복잡한 현장특성을 반영할 수 있는 해석적인 방법론을 적극적으로 활용하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 광체의 탐사 관련 연구에서도 현장 데이터를 활용한 3차원 광체 모델링을 활용하는 등 보다 정량적인 탐사기법이 적용되고 있음을 확인하였다.

북한의 암반공학 분야 연구의 경우 광업 생산성 향상을 주요 연구목표로 하여 이론식 및 실내시험법, 수치해석 등 다양한 연구 방법론을 활용한 연구들이 진행되었다. 하지만 북한의 암반공학 분야 연구 주제는 대부분 광업과 직접적인 관련이 있는 대상으로 한정되어 있어, 터널 및 지하 구조물과 같은 인프라 시설을 대상으로 한 연구논문은 조사 대상 학술지에 거의 수록되지 않았다. 또한 광산의 안정성 분석 연구의 경우 암반 내 불연속면의 분포에 따른 암반거동의 영향 및 채광 과정에서의 지반침하, 사면 안정성 등 광산 개발 과정에서 발생 가능한 재해 위험성에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 북한 광물자원 개발 사업의 경제성 평가 시 광산 갱도 이외의 도로, 전력, 용수 등 인프라 구축 및 광산 주변부의 안정성 분석 단계에서 보다 보수적인 의사결정기준 및 추가적인 기술적 고려가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 북한 광업 및 암반공학 분야의 최근 연구동향 분석 결과는 현재 국내에서 접근할 수 있는 제한된 북한 학술지 수록자료만을 활용하여 도출한 결과이므로 실제 북한이 보유하고 있는 기술적 수준을 적절하게 반영하지 못할 수 있다. 또한 북한의 기술력 역시 학술적인 성취수준과 광산 현장에 도입 가능한 기술력 수준에는 상당한 차이가 존재할 수 있으므로, 이에 대한 고려 역시 필수적으로 수행되어야 한다. 이와 같은 본 연구결과에 필요한 개선사항은 향후 남-북간 정치, 경제적 환경의 개선 이후 상호간의 기술교류 및 현장조사를 통해 보완될 수 있을 것이다.

사사

이 연구는 2019년도 서울대학교 통일평화연구원의 재원으로 통일기반구축사업의 지원을 받아 수행된 결과물임.

REFERENCES

- 김경일, 리철진, 리룡길, 2008, <오-스>돌출대와 그 주변에서 단층구조의 모형화와 응력마당분포에 대한 연구, 지질 및 지리과학, 49(4), 40p.
- 김영희, 리효원, 2017, 불연속암체에서 로천채굴장변두리의 안정성 분석, 채굴공학, 53(4), 2-3.
- 김유동, 박홍수, 김성용, 이재호, 2005, 북한의 광물자원개발과 남북간 자원협력방안, 자원환경지질, 38(2), 197-206.
- 김은섭, 박대성, 2015, 유전산법과 인공신경망에 의한 갱도유지방법 해석, 채굴공학, 51(2), 4-5.
- 김철룡, 2009, 암석의 완전응력변형특성에 의한 암체의 세기 해석, 채굴공학, 45(4), 2-3.
- 김초향, 2016, 유한요소법에 의한 지반의 극한세기계산, 지질 및 지리과학, 57(2), 7-8.
- 김혁진, 최종수, 2012, 유한요소법에 의한 잔주응력상태 해석, 채굴공학, 48(2), 18-20.
- 리성, 최명학, 전철만, 2014, 블록모형에 기초한 광체3차원모형화방법, 지질 및 지리과학, 55(1), 39p.
- 리철영, 서원석, 2008, 채굴갱도주위암체의 파괴구역 예측, 채굴공학, 44(2).
- 리태섭, 김은섭, 2012, FLAC3D에 의한 무연탄완경사증박층 천반의 거동 해석, 채굴공학, 48(4), 11-12.
- 박장혁, 변광남, 2012, 채굴장불규칙잔주의 안정성 해석, 채굴공학, 48(1), 15-16.
- 백기남, 2013, 착암대차의 천공팔정위조종을 위한 천공순서 결정, 채굴공학, 49(2), 31-33.
- 변상정, 2011, 북한 과학기술정책 연구동향과 과제, 현대북한연구, 14(2), 167-216.
- 석근우, 2016, 북한의 석탄산업 현황 및 진출전략, 한양대학교 공학대학원, 석사학위논문, 4-7, 20-25.
- 안영범, 조천일, 2009, 비선형계획법에 의한 보통경사유연탄층의 채굴법선택요소 최량화, 채굴공학, 45(3), 24-25.
- 오창환, 리원철, 2010, 보통경사탄층에서 한방향계단붕괴식채탄법, 기술혁신, 56(8).
- 이춘근, 김종선, 2015, 북한 김정은 시대의 과학기술정책 변화와 시사점, STEPI Insight, 173, 1-29.
- 이춘근, 김종선, 박은혜, 남달리, 2015, 통일 이후 남북한 과학기술체제 통합방안, 과학기술정책연구원, 정책연구 2015-20, 38-40.
- 장관철, 장춘근, 2012, 전면붕괴식채광법에 의한 잔주채굴, 기술혁신, 58(5).
- 정진혁, 2017, JKSImBlast를 리용한 지하채굴장천공발파설계방법, 기술혁신, 63(7).
- 채명학, 심영택, 2016, 비저항영상화에 의한 갱내탐사에서 장치결수결정방법에 대한 연구, 지질 및 지리과학, 57(3), 27-28.
- 최승기, 강경석, 2009, 모호모임함광성종합평가법의 정량화된 등급상태구분, 지질 및 지리과학, 50(1), 29p
- 최지성, 김인봉, 2015, 품질공학적수법에 의한 갱도발파최량설계에 대한 연구, 채굴공학, 51(3), 9-12.
- 통계청, 2019.11.21. 통계정보-북한통계-주제별. http://kosis.kr/bukhan/statisticsList/statisticsList_01List.jsp
- 한국광물자원공사, 2011, 북한 광물자원 개발현황, 한국광물자원공사 남북사업팀, 478p.
- 홍근의, 리혁철, 2016, 광체의 채굴가능매장량평가방법, 기술혁신, 62(3).
- 황룡현, 2013, 구조응력마당속에서 갱도의 합리적배치 고찰, 채굴공학, 49(1), 37-38.
- Chung, J., 2019, 2016 Minerals Yearbook: North Korea, USGS, 14.4-14.5.
- Chung, W., 2019, Mineral Resource Industry of North Korea and Two Korea's Cooperation, J. Korean Soc. Miner. Energy Resour. Eng., 56(2), 204-211.
- I-RENK, 2019.11.20. 북한 지하자원 매장. <https://www.irenk.net/>

- Lim, S., 2014, North Korea's Underground Natural Resources and Promotion of the Exchange between South and North Korea, *The Journal of Peace Studies*, 15(1), 111-128.
- Yoon, D., Song, J., 2019, Conceptual Economic Evaluation of a Copper Mine in North Korea, *J. Korean Soc. Miner. Energy Resour. Eng.*, 56(2), 183-196.