



Review

북한 광물자원의 현황과 전망 및 남북 광물자원 협력방안

고상모^{1,*}, 장호완^{2,3}

¹한국지질자원연구원

²대한민국학술원

³서울대학교

Current status and prospects of North Korea's mineral resources and cooperation strategies for Inter-Korean mineral resource development

Sang-Mo Koh^{1,*}, Ho-Wan Chang^{2,3}

¹Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea

²The National Academy of Sciences, Seoul 06579, Republic of Korea

³Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

Received: August 13, 2026 / Revised: August 24, 2026 / Accepted: August 24, 2026

*Corresponding author: +82-42-868-3106 / E-mail: kohsm430@gmail.com

요약: 북한에서 주도적으로 생산되는 주요 광물자원은 금·은, 동, 철, 연·아연, 마그네사이트, 인회석, 무연탄 및 흑연 등이며, 최근에는 희토류, 니켈, 코발트 및 바나듐 자원이 새로운 전략자원으로 주목받고 있다. 특히 황해도와 강원도 지역에서 바나듐이 함유된 저급탄이 확인되면서 자원 잠재력이 확대되고 있다. 그러나 장기간의 광산개발에 따른 금속광산의 심부화와 품위 저하가 지속되고 있으며, 비금속광산 역시 가공시설 부족으로 인해 고부가가치화에 한계가 있다. 북한의 광물자원 연구는 현재 생산이 활발한 금·은, 연·아연 및 철 자원과 미래 개발 잠재력이 높은 희토류를 중심으로 이루어지고 있다. 선풍 분야에서는 부유선별에 관한 연구가 주를 이루고 있으나, 탐사·채광·선광·제련을 포괄하는 전반적인 연구 및 기술 수준은 상대적으로 열악한 것으로 평가된다. 또한 현대적인 광산개발 장비와 기술이 부족하고, 노후화된 생산설비로 인해 광물자원의 생산성과 개발 효율성이 낮은 실정이다. 북한은 이러한 문제를 개선하고 광물자원의 체계적인 개발을 추진하기 위해 2015년 ‘지하자원개발전략’을 수립하고 2052년까지 4단계의 개발계획을 추진하고 있다. 향후 북한 광물자원의 효율적인 개발을 위해서는 탐사 기술의 현대화, 선풍·제련 기술의 고도화 및 생산설비의 개선과 함께 희토류와 바나듐 등 전략광물자원의 탐사 및 개발이 중요한 과제가 될 것으로 전망된다. 남북관계 개선 시 북한의 다양한 광물자원과 남한의 탐사·선광·가공 기술을 연계하여 공동탐사, 광산개발 및 기술·인력 교류를 단계적으로 추진함으로써 희토류·바나듐 등 전략광물의 공동개발과 안정적 공급망 구축을 도모할 필요가 있다.

주요어: 북한, 광물자원, 부존현황, 개발현황, 연구동향, 협력방안

ABSTRACT: The major mineral resources actively produced in North Korea include gold and silver, copper, iron, lead and zinc, magnesite, apatite, anthracite, and graphite. Recently, rare earth elements (REEs), nickel, cobalt, and vanadium have attracted increasing attention as strategic resources. In particular, vanadium-bearing low-grade coal identified in Hwanghae and Gangwon provinces has expanded the country's mineral resource potential. However, prolonged mining has resulted in increasing mine depths and declining ore grades, while inadequate processing facilities limit the value-added utilization of non-metallic resources. Research on North Korean mineral resources has focused mainly on gold and silver, lead and zinc, iron, and rare earth elements. Flotation has been the principal focus in mineral processing, whereas research and technological capabilities across exploration, mining, mineral processing, and metallurgy remain relatively limited. The lack of modern mining technologies and equipment, together with aging facilities, has also reduced productivity and development efficiency. To address these challenges, North Korea established a 'Mineral Resources Development Strategy' in 2015 and has pursued a four-stage development plan through 2052. Future priorities include modernizing exploration technologies, advancing mineral processing and metallurgical technologies, upgrading production facilities, and developing strategic resources such as rare earth elements and vanadium. Improved inter-Korean relations could enable joint exploration and development of strategic minerals, such as rare earth elements and vanadium, by combining North Korea's mineral resources with South Korea's advanced technologies.

Key words: North Korea, mineral resources, mineral occurrences, mining status, research trends, Inter-Korean mineral resources cooperation

1. 서론

한반도 북부에는 다양한 금속 및 비금속 광물자원이 풍부하게 부존되어 있으며, 광업은 북한 경제를 지탱하는 주요 산업 중 하나이다. 특히 금·은, 동, 철, 연·아연, 마그네사이트, 인회석, 무연탄 및 흑연은 부존량과 개발 규모가 큰 주요 광물자원으로, 북한의 산업 및 수출 경제에서 중요한 비중을 차지한다. 또한 2000년대 이후 희토류, 니켈·코발트 및 바나듐 등 새로운 광상들이 보고되면서 북한 광물자원의 개발 잠재력과 전략적 가치가 재평가되고 있다.

그러나 북한의 광물자원 개발은 장기간의 채굴과 기술·설비 노후화로 지반침하, 채굴 심부화 및 품위 저하 등의 문제가 발생하고 있으며, 비금속광산도 가공시설과 인프라 부족으로 고부가가치화에 한계가 있다. 또한 탐사·채광·선광·제련 전 과정에서 현대적 장비와 기술이 부족하여 생산성과 경제성이 낮다.

북한의 지질·광물자원 연구는 2000년대 이후 점차 현대화되었으며, 러시아·중국과의 협력을 통해 판구조론, 동위원소 지질학 및 연대측정 분야가 발전하였다. 연구는 금·은, 연·아연, 철, 희토류 등을 중심으로 이루어지며, 선광에서는 부유선별, 철광석에서는 자력선별이 주로 연구되었다. 비금속광물의 연구 빈도는 금속광물의 약 36% 수준으로, 인회석·석회석·흑연이 주요 대상이다. 탐사·채광은 기술과 장비 부족으로 생산성이 낮고, 선광·제련도 노후 설비와 전통적 공정에 의존하여 효율성이 낮다. 다만 최근에는 자원순환 및 재활용 기술에 대한 연구가 증가하고 있다.

이러한 상황에서 북한 광물자원의 부존 현황, 개발 잠재력, 연구동향 및 기술 수준을 종합적으로 파악하는 것은 향후 자원개발과 한반도 광물자원 협력 및 자원안보 전략 수립에 중요하다. 특히 희토류, 니켈·코발트 및 바나듐 등 에너지원 전략광물자원은 미래 산업과 자원안보 측면에서 중요성이 높아 체계적인 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 북한의 주요 금속·비금속 광물자원을 대상으로 부존 및 개발현황, 연구동향, 탐사·채광·선광·제련 기술 수준, 전략광물의 개발 잠재력 및 개발정책을 종합적으로 분석하고, 유망 광물자원의 개발 가능성과 기술적 개선 방향을 제시하고자 한다. 연구 결과는 북한 광물자원의 기초자료와 자원잠재력 평가에 활용하고, 향후 전략광물 확보 및 남북 광물자원 공동조사·개발협력의 우선 분야를 선정하는 데 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

북한 광물자원의 개발 현황과 전망은 최근의 신뢰성 있는 자료를 바탕으로 분석하는 것이 바람직하지만, 북한의 광물자원 개발 및 생산과 관련한 최신 자료는 공개가 제한되어 있어 이를 반영하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 이용 가능한 자료의 범위를 고려하여 2010~2016년 사

이에 발간된 기존 자료를 중심으로 북한 광물자원의 개발 현황을 분석하고, 이를 토대로 향후 개발 가능성을 전망하였다. 한편, 광물자원의 지질학적 부존 현황은 1980년대부터 최근까지 기보고된 다양한 자료를 종합적으로 검토하여 분석하였으므로, 부존 현황에 대한 분석에는 자료의 시기적 제약이 상대적으로 크지 않다. 다만 개발 현황과 향후 전망은 이용 가능한 자료의 시기적 제약을 고려하여 해석할 필요가 있으며, 향후 신뢰성 있는 최신 자료가 확보될 경우 이를 반영한 추가적인 검토와 보완이 필요하다.

2. 북한 광물자원 부존현황

2.1. 지질시대별 부존특성

1988년 편찬된 ‘조선지리지전서(지질과 지하자원)’에 따르면 북한의 광상은 지질시대별 지층 및 관입암체와 밀접한 관련성을 보이며, 각 시대별 주요 광상 분포 특성을 요약하면 다음과 같다(Kim *et al.*, 1988).

신시생대 낭림층군의 변성퇴적암류에는 흑연과 인회석 광상이 배태되며, 안동암군의 염기성·초염기성 관입암류는 인회석, 티탄철석 및 니켈 광상과 성인적으로 관련된다. 연화산암군의 화강암류는 희토류, 중석 및 석석 광상의 성인암으로 해석되며, 무산 철광상은 무산층군의 철질 규암 및 철질 각섬암층에 배태된다.

고원생대층에는 철, 동, 연·아연, 마그네사이트, 인회석 및 흑연 등 다양한 광상이 배태된다. 검덕 연·아연 광상은 북대천주층의 탄산염암내 배태되며, 허천·상농 및 갑산 동광상, 룡양·대흥 마그네사이트 광상 등도 북대천주층을 포함한 고원생대층에 배태된다. 삭주암군의 알칼리 관입암은 정주(룽포) 희토류 광상의 근원암체로 해석되며, 벽성암군의 염기성·초염기성 관입암은 니켈·티탄철·인회석 광상과 성인적으로 관련된다. 이원암군의 화강암류는 유색금속 및 희유금속 광상과, 중원생대 웅진암군의 산성 관입암류는 금 및 희토류 광상과 성인적 관련성이 있다.

신원생대 상원초군층에는 연·아연, 금, 철, 망간, 형석 및 초무연탄 등이 특정 층준에 집중적으로 배태된다. 상원초군층 내 배태된 충상 열수광상과 스카른광상은 은파 및 성천 연·아연 광상, 성흥 금 광상, 망간 및 형석 광상 등이다. 삼해암군과 연산암군의 염기성·초염기성 관입암류는 니켈, 석면 및 자철석 광상과 성인적으로 관련된다.

하부 고생대 황주초군층에는 철, 망간, 우라늄, 석회석 및 인회석 등이 분포하며, 중부 고생대에는 강령 함동 유화물 광상과 창도 유화철 광상 등이 배태된다. 상부 고생대 평안초군층에는 석탄층이 널리 분포하고 보오크사이트, 남정석 및 고령토 등이 배태된다. 두만군층의 편암층에는 금·은 광화작용이 초래되었으며, 청진암군의 초염기성 관입암은

크롬, 니켈, 금-은 및 동 광화작용과, 두만강암군의 화강암류는 금-은, 몰리브덴 및 수정 광화작용과 성인적인 관련성이 있다.

중생대는 화성활동이 활발했던 시기로, 평강암군, 해산암군, 단천암군 및 압록강암군 등의 관입암류가 다양한 광상 형성에 관여하였다. 평강암군은 인회석, 장석, 티탄철, 지르코늄, 니오븀(Nb) 광상과, 해산암군은 유색금속 광상과 관련된다. 쥐라기 단천암군은 석석, 중석, 몰리브덴 등의 희유금속과 금-은 및 유색금속 광상을, 백악기 압록강암군은 반암형 동 광상을 비롯한 금, 은 및 몰리브덴 광상을 형성한 것으로 해석하고 있다.

신생대 제3기층에는 함경북도를 중심으로 갈탄층이 발달하며, 고령토, 벤토나이트 및 규조토 광상이 분포한다. 제3기 학무산암군의 관입암류는 금, 은, 안티몬 및 수은 광상과 관련되며, 제4기층에는 함금 역암, 규조토 및 이탄층 등이 배태된다. 이처럼 북한의 광상은 지질시대별 지층의 암석학적 특성과 퇴적·변성 환경, 그리고 화성활동 및 관입암체와 밀접한 성인적 관계를 보인다. 각 지질시대의 지질환경에 따라 특정 광종과 광상 유형이 집중적으로 형성되었으며, 이에 따라 북한의 광물자원은 지질시대와 지체구조에 따른 특정한 광화대 및 광상구를 이루며 분포하고 있다.

2.2. 광물자원 부존특성

2.2.1. 금속광물자원

북한의 주요 금속광물자원은 철, 동, 연-아연, 금-은, 중석, 몰리브덴, 티탄철석 및 니켈 등이다. 주요 광화대는 함경북도 관모지괴의 관모봉 철 광화대, 마천령 열곡대의 동-연-아연-마그네사이트 광화대, 평안북도 낭림지괴의 금-희토류 광화대, 평남분지의 철 광화대 및 금-중석-몰리브덴 광화대 등으로 구분된다(그림 1). 대표적인 중앙공업광산으로는 무산광산연합기업소(철), 해산청년광산(동), 김덕광업연합기업소(연-아연), 룡양광산 및 대흥청년영웅광산(마그네사이트) 등이 있다.

철광상은 약 390개의 광상 및 산출지가 알려져 있으며, 주요 광상은 약 30개이다. 화성활동과 관련된 마그마분화형, 카보나타이트형, 집축교대형 및 열수형으로 구분된다(Choe *et al.*, 2011a). 주요 광상은 평남분지 서남부의 개천-은율-재령-하성 지역에 집중되며, 탄산철광형, 자철석-적철석형 및 석영-적철석형 광체가 발달한다. 특히 무산 철광상은 북한을 대표하는 대규모 철광상이다(그림 1).

금광상은 내인·외인 및 변성광상으로 구분되며, 천열수 및 중열수 광상이 우세하다(Kim *et al.*, 1988). 대표적인 함금 석영맥형 광상은 낭림 광상구의 운산·대유동과 마천령 광상구의 성흥·허천 광상이며, 홀동과 수안 광상은 함금 스

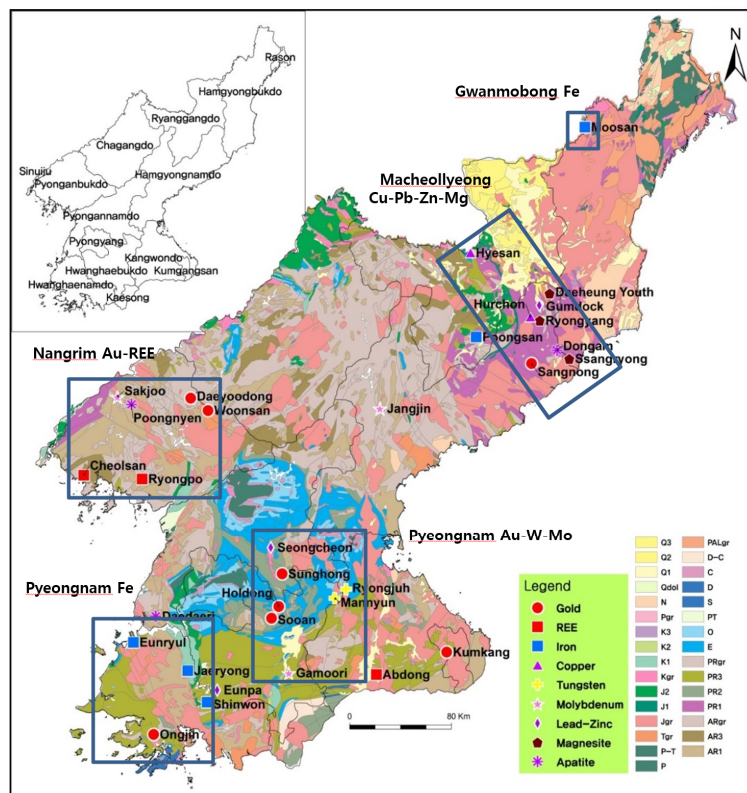


Fig. 1. Major mineralized belts of North Korea.

카른형 광상으로 알려져 있다(그림 1). 금광상에서는 은, 동, 몰리브덴, 중석 및 연-아연 등이 함께 산출되기도 한다.

동광상은 약 600개의 광상 및 산출지가 알려져 있으며, 마천령·압록강·두만강 광상구에 주로 분포한다(그림 1). 마그마분화형, 스카른형, 변성퇴적형 및 열수형으로 구분되며, 열수형에는 반암형과 동-유화물형 등이 포함된다(Choe *et al.*, 2011a).

연-아연 광상은 약 700개의 광상 및 산출지가 알려져 있으며, 혜산-이원 분지, 평남분지 및 낭림지괴 등에 분포한다. 주요 유형은 스카른형, 열수형 및 퇴적분기형(SEDEX)이며, 경제적으로 중요한 광상은 주로 고원생대와 신원생대 지층에 형성되었다. 대표적인 검덕 광상은 마천령 광상구에 위치한 대규모 SEDEX형 연-아연 광상이다(그림 1).

중석 광상은 약 200개의 광상 및 산출지가 알려져 있으며, 페그마타이트형, 스카른형, 열수형, 층상형 및 표사형으로 구분된다. 산업적으로 중요한 광상은 스카른형과 열수형이며, 주로 화강암 및 화강섬록암 관입체와 관련된다(Kang *et al.*, 2011). 몰리브덴 광상은 약 130개의 산출지가 알려져 있으며, 페그마타이트형, 스카른형 및 열수형으로 구분된다. 특히 쥐라기 단천암군 및 백악기 압록강암군의 화강암 관입활동과 밀접한 관련성을 보인다(Kim *et al.*, 1988).

티탄철석 광상은 마그마분화형을 비롯하여 퇴적·변성·교대형으로 구분되며, 다양한 염기성 및 알칼리성 화성암과 관련된다. 니켈 광상은 약 80개의 산출지가 알려져 있으며, 주로 염기성·초염기성 관입암체와 관련되어 함경남북도, 강원도 및 황해남도 등에 분포한다. 함경북도의 삼해·부운·관모 광상이 대표적이며, 최근에는 코마티아이트(komatiite) 관련 니켈 광상도 보고되고 있다(Kim *et al.*, 1988; Kang *et al.*, 2010).

종합하면 북한의 주요 금속광상은 선캄브리아기부터 중생대까지의 다양한 지질시대와 화성활동, 퇴적작용 및 변성작용과 밀접하게 관련되어 있으며, 특히 철, 금, 동, 연-아연 및 중석·몰리브덴은 주요 금속자원으로서 광화대별로 뚜렷한 공간적 분포 특성을 보인다(그림 1).

2.2.2. 비금속광물자원

북한의 비금속광물자원은 용도에 따라 건재공업, 내화물, 비료, 화학공업, 유리·도자기, 충전제, 전기절연물, 안료, 보석·공예품·광학재료 및 약용 원료자원 등으로 구분된다(Choe *et al.*, 2011b). 이 가운데 대표적인 자원은 내화물 원료인 마그네사이트와 흑연, 비료 원료인 인회석(인광석)이며, 이들은 매장 규모와 산업적 중요성이 높은 주요 비금속광물자원이다.

마그네사이트 광상은 주로 통양-검덕, 대흥-남계 및 김책 지구에 분포하며, 마천령층군 북대천주층의 백운암 및

투각섬석 백운암층의 특정 층준을 따라 발달한다(그림 1). 주요 광상은 운흥, 백암, 남계, 대흥, 검덕, 창평, 통양 및 쌍룡 등이며, 마천령 열곡대의 혜산-이원 분지에 해당하는 마천령 광상구에 위치한다. 특히 통양-검덕 지구에서는 강한 활석화작용으로 대규모 마그네사이트-활석 광화대가 형성되어 북한의 주요 마그네사이트 및 활석 생산지로 알려져 있다(Kim *et al.*, 1988). 마그네사이트 광상은 퇴적변성형, 열수형, 퇴적형 및 풍화잔류형으로 구분되며, 변성퇴적형이 우세하다.

흑연 광상은 약 300개의 광상 및 산출지가 알려져 있으며, 변성퇴적형, 열수형 및 접촉변성형으로 구분된다(Choe *et al.*, 2011b). 변성퇴적형은 유기물질을 포함한 규산염암이 광역변성작용을 받아 형성되며, 낭림층군, 의주층군, 성진주층, 남대천주층 및 황해층군 등에 널리 분포한다. 대부분 인산흑연으로 품위는 비교적 낮지만 규모가 큰 것이 특징이다. 접촉변성형은 관입암체 주변의 탄층이 열변성작용을 받아 토상흑연으로 전환된 것으로, 인산주층, 임석주층 및 사동주층 등의 탄층에서 주로 산출된다.

인회석 광상은 마그마형, 카보나타이트형, 퇴적형, 변성퇴적형, 스카른형, 페그마타이트형 및 열수형 등으로 다양하게 구분된다(Choe *et al.*, 2011b). 마그마형은 안돌암군, 벽성암군, 삭주암군, 연산암군 및 평강암군의 알칼리성 염기성암과 초염기성암에 관련되며, 카보나타이트형은 인회석-방해석 카보나타이트와 관련된다. 변성퇴적형은 낭림층군, 증산층군 및 황해층군 등에 배태된다. 대표적인 광상으로 풍년·영유·증산, 풍해·곡산, 대대·벽성 및 동문·북만 광상 등이 있다. 일부 광상에서는 티탄철석, 희토류 및 지르코늄이 함께 산출되어 희유금속 및 희토류 자원으로서의 잠재력도 주목된다.

종합하면, 북한의 주요 비금속광물인 마그네사이트, 흑연 및 인회석은 각각 탄산염암, 변성퇴적암·탄층 및 다양한 화성암·변성퇴적층과 밀접한 성인적 관계를 보인다. 특히 마그네사이트-활석 광화대와 대규모 흑연 및 인회석 광상은 북한 비금속광물산업의 중요한 기반이며, 티탄철석, 희토류 및 지르코늄 등이 수반되는 인회석 광상은 향후 전략광물자원으로서도 중요성이 크다.

2.3. 매장량

북한의 지하자원 관련 법령인 지하자원법 제15조와 제16조는 지하자원 탐사기관이 탐사자료를 바탕으로 매장량을 정확히 산정하고, 산정된 매장량은 해당 중앙기관과 국가 지하자원개발 심의기관의 심의를 받도록 규정하고 있다. 북한은 매장량을 전방 매장량, 확보 매장량 및 잔존 매장량으로 구분하며, 일부 자료에서는 러시아식 매장량 등급인 A, B, C1, C2, P1, P2, P3를 사용하기도 한다. 이는 우

리나라의 예상·추정·확정 매장량 및 가채매장량 체계와는 차별적이다(Korean Industrial Standards Committee, 2020).

북한은 광물자원의 매장량과 생산량 등 관련 통계자료를 공식적으로 지속하여 공개하지 않고 있다. 북한의 광물자원 매장량에 관한 주요 공식자료로는 과학원 산하 지리학연구소가 1988년에 발간한 ‘조선지리전서(지질과 지하자원)’가 있으며, 이 자료에는 1982년 1월 1일을 기준으로 금속 및 비금속광상 386개와 석탄광상 52개의 전망·확보·잔존 매장량이 수록되어 있다(Kim *et al.*, 1988). 표 1은 이를 기초자료로 하여 단위 광상별 매장량을 합산한 후, 1983~2020년의 생산량 자료(USGS)를 반영하여 잔존 매장량을 재계산한 것이다. 북한의 매장량 분류체계에서 사용하는 ‘전망 매장량’과 ‘확보 매장량’은 국제적인 매장량 분류기준과 비교할 경우 각각 ICMM (2006)의 Probable Reserve와 Proved Reserve에 유사한 개념으로 볼 수 있다. 그러나 북한과 국제기준은 매장량 산정의 기준과 방법에 차이가 있으므로 양자를 직접적으로 동일한 등급으로 간주하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 이들 분류를 국제기준의 해당 등급과 직접 대응시키기보다는, 개념적으로 가장 유사한 매장량 범위로 비교·해석하였다.

2011년 한국광물자원공사(KORES)가 북한 광물자원 매장량을 발표한 이후 여러 기관에서 서로 다른 수치가 제시되었으나, KORES 자료는 출처가 명확하지 않아 신뢰성에 한계가 있다. 반면 한국지질자원연구원 한반도광물자원 개발 융합연구단(DMR)은 북한이 공식적으로 발표한 1982년 자료를 기반으로 매장량을 집계하였다는 점에서 상대적으로 신뢰성이 높다. 다만 자료의 작성 시점이 오래되었다는 한계를 보완하기 위해 1983~2020년 생산량을 반영하여 현재의 잔존 매장량을 추정하였다.

자료를 종합하면 북한은 남한보다 상대적으로 풍부한 광물자원을 보유하고 있으며, 주요 자원은 금·은, 철, 연·아

연, 동, 중석, 몰리브덴, 마그네사이트, 흑연 및 인회석 등이다. 특히 마그네사이트는 세계적으로도 높은 매장 잠재력을 보유하고 있으며, 흑연과 인회석 역시 세계적인 수준의 자원으로 평가된다. 다만 북한의 매장량 분류체계가 국제적으로 통용되는 CRIRSCO 기준과 일치하지 않아 USGS의 Mineral Commodity Summaries 자료와 직접 비교하는데에는 한계가 있다. 그럼에도 북한의 보고된 자료를 종합하면 금·은, 철, 연·아연, 마그네사이트 및 흑연이 개발 잠재력이 가장 높은 광물자원으로 평가된다.

3. 북한 광물자원 개발현황 및 기술수준

3.1. 개발현황

2013년 기준 북한에서는 철, 금·은, 동, 연·아연, 중석, 몰리브덴, 주석, 니켈 등 25종의 금속광물자원이 29개 중앙공업광산과 약 1,880개의 중소규모 광산에서 개발되었다. 주요 광종별 생산 비율은 동 27.5%, 철 24.1%, 금·은 17.1%, 몰리브덴과 중석 각각 10.3%, 연·아연 6.9% 등이다. 그러나 장기간의 무질서한 개발로 중앙공업광산의 채굴환경이 악화되고, 광산의 심부화에 따라 규모 축소와 품위 저하가 진행되면서 개발 조건과 생산성이 저하되었다. 2015년에는 외화 및 에너지 확보를 목적으로 약 5,000개의 탄광과 광산이 운영된 것으로 보고되었다(Ministry of Natural Resource Development *et al.*, 2015).

비금속광물자원은 2013년 기준 67종이 76개 중앙공업광산과 641개 중소규모 광산에서 개발되었다. 주요 광종은 석회석(27.2%), 천매암(9.9%), 규석(8.7%), 흑연(4.5%), 사문석(3.7%), 대리석(3.2%) 및 백운석(3.1%) 등이다. 그러나 가공시설과 기술인력이 부족하고, 단천 마그네시아 공장 등 일부 시설을 제외하면 전문 가공업체가 부족하여 원광의 직접 소비 또는 수출 비중이 높다. 또한 가공기술과

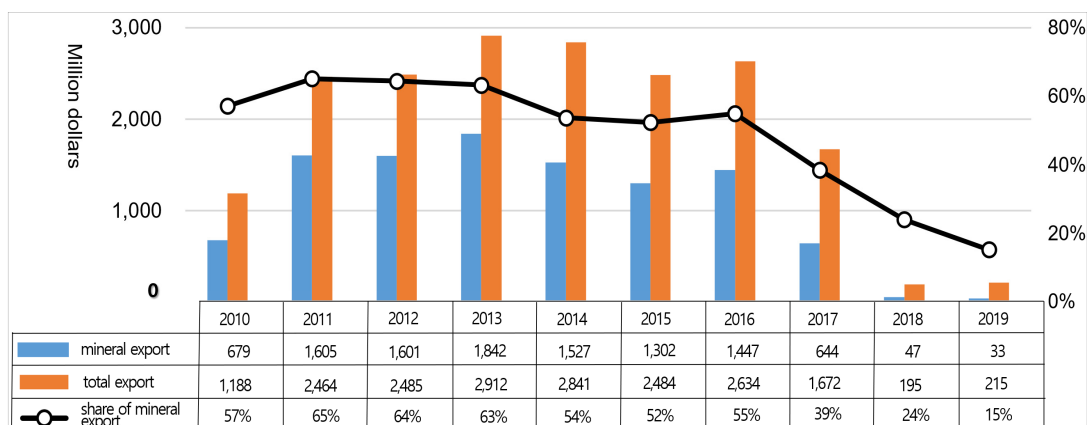


Fig. 2. Trends in North Korea's total exports and mineral exports to China from 2010 to 2019 (I-RENK, 2020).

Table 2. Production trends of minerals and coal in North Korea from 2017 to 2021 (Chung, 2024).

Mineral commodities	Unit	2017	2018	2019	2020	2021
Au	kilograms (metal)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Ag	kilograms (metal)	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Cu	metric ton (metal)	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Fe	thousand metric tons (ore)	5,470	3,280	2,830	2,580	2,650
Pb	metric ton (metal)	35,000	30,000	26,000	24,000	25,000
Zn	metric ton (metal)	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
W	metric ton (metal)	310	1,410	1,130	410	50
Graphite	thousand metric tons (ore)	Amorphous	1,000	3,600	3,600	3,600
		Crystalline flake	4,500	4,500	4,500	4,920
Magnesite	metric ton (ore)	380,000	70,000	70,000	70,000	70,000
Coal	thousand metric tons (ore)	Anthracite	15,200	12,700	14,200	13,300
		Lignite	6,500	5,420	6,060	5,700
						4,680

설비, 측정·분석 장비도 전반적으로 낙후되어 있다. 그럼에도 마그네사이트와 흑연은 주요 수출자원이며, 인회석은 인산 비료 및 복합비료의 주요 원료로 활용되고 있다(Ministry of Natural Resource Development *et al.*, 2015).

북한의 광물자원 생산량은 정확히 파악하기 어렵지만, USGS (2024)에 따르면 2017년까지 연간 철광석 약 500만 톤, 마그네사이트 약 40만 톤, 무연탄 약 1,500만 톤이 생산된 것으로 추정된다(표 2). 그러나 2018년 이후 대북 경제 제재의 영향으로 생산량이 크게 감소하였다.

광물자원은 북한 경제와 수출에서 중요한 비중을 차지한다. 2015~2019년 북한의 GDP 규모는 약 35~36조 원으로, 북한 GDP에서 광업의 비중은 약 10~12%였으며, 광공업은 약 30~33%를 차지하였다(그림 2). 2011~2016년 북한의 총수출액 가운데 광물 수출이 50% 이상을 차지했고, 이 가운데 중국 수출 비중은 89~93%에 달했다. 특히 2011~2017년 중국으로의 철광석 수출액은 연간 약 7천만~3억 달러, 무연탄은 2011~2016년 약 10억~14억 달러 수준이었다(표 3).

그러나 2016년 이후 유엔 대북제재가 강화되면서 북한의 광물자원 수출은 급격히 감소하였다. 석탄, 철, 금·은, 동, 연·아연, 니켈, 주석, 알루미늄, 바나듐, 티타늄, 희토류 및 마그네슘 등 주요 광물의 수출 제한이 강화되면서 대중국 광산물 수출액은 2010년 6억 7,900만 달러에서 2019년 3,300만 달러로 크게 감소하였다. 이에 따라 대중국 광산물 수출 비중도 제재 이전의 50~65% 수준에서 2019년 약 15%로 급감하였다(그림 2). 이는 북한이 풍부한 광물자원을 보유하고 있음에도 불구하고 기술적 한계와 노후한 생산시설, 국제사회의 경제제재 등으로 실제 생산 및 수출에는 상당한 제약을 받고 있음을 보여준다.

3.2. 기술수준

3.2.1. 탐사기술

북한의 광물탐사는 전망탐사, 현행탐사 및 작업탐사로 구분되며, 국가자원개발성이 전망·현행탐사를 지도하고 광산·탄광에서 작업탐사를 수행한다(Ministry of Natural Resource Development *et al.*, 2015). 2000년대 이후 판구조론을 기반으로 새로운 광상 유형을 해석하고 RS/GIS/GPS를 활용한 원격탐사를 도입하였으나, 위성영상과 수치지질도 부족으로 활용에는 한계가 있다.

2015년 기준 지질탐사 인력은 약 36,000명이나, 탐사장비의 노후화가 심각하다. 특히 중앙물리탐사단 장비의 약 95%가 노후화되었으며, 보유 시추기 334대 중 실제 가동 가능한 장비는 제한적이다. 지구화학탐사는 분석장비의 정확도와 비용 문제로 크게 위축된 반면, 지구물리탐사는 상대적으로 활발하여 전기·전자탐사, 중력·자력탐사 및 탄성파탐사 등이 활용되고 있다. 그러나 소프트웨어와 하드웨어 부족으로 자료처리 및 해석 수준은 낮으며, 시추 및 갱도 탐사도 1980년대 이후 크게 감소하였다. 따라서 북한의 탐사기술은 전통적인 지표 지질조사에 의존하는 비중이 높고, 현대적 탐사장비와 자료처리·해석 기술의 현대화가 필요한 실정이다.

3.2.2. 채광기술

북한의 지하자원법은 채굴기준과 지하자원 매장량 계산의 기준이 되는 광체를 모두 채굴하도록 규정하고 있다(DPRK, 2009). 이러한 규정은 경제적 최저개발품위(cut-off grade)보다는 등록된 매장량의 최대한 회수와 양적 생산을 중시하는 채광 방식에 영향을 미친 것으로 판단된다. 노천채광

Table 3. Trends in North Korea's mineral exports to China from 2011 to 2018 (K-stat, 2024).

Minerals	HS code	Unit	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Au-Ag	Precious metal and it's concentrate	metric ton	78,845	106,145	86,532	75,414	89,507	26,389	300	-
		thousand USD	19,692	30,277	29,367	30,989	39,147	12,987	125	-
Cu	Copper and it's concentrate	metric ton	28,150	26,325	24,704	29,558	33,948	52,482	546	-
		thousand USD	25,374	17,351	10,064	15,420	15,796	20,866	100	-
Fe	Iron ore	metric ton	2,509,213	2,412,086	3,060,782	2,830,087	1,543,069	1,637,561	1,637,561	-
		thousand USD	324,454	248,576	298,653	221,889	72,767	74,411	103,398	-
Pb	Lead ore and it's concentrate	metric ton	57,015	76,775	117,550	106,100	95,175	108,168	93,216	-
		thousand USD	23,717	34,560	59,389	56,365	50,346	61,518	74,783	-
Zn	Zinc ore and it's concentrate	metric ton	11,749	17,509	15,391	19,504	55,455	128,122	2,415	-
		thousand USD	4,772	6,817	5,486	6,979	20,429	50,867	681	-
W	Tungsten ore and it's concentrate	metric ton	211	184	123	136	140	99	597	2,739
		thousand USD	658	797	497	539	494	409	3,945	18,487
Mo	Molybdenum ore and it's concentrate	metric ton	326	833	593	564	818	968	1,053	1,234
		thousand USD	3,803	7,881	5,340	4,668	4,394	4,020	4,454	6,827
Graphite	Natural graphite	metric ton	129,214	54,249	67,670	60,148	82,809	46,883	140,000	44,965
		thousand USD	17,235	7,271	8,024	7,765	11,020	6,161	13,908	4,794
Magnesite	Magnesite	metric ton	134,002	138,701	130,806	164,682	136,538	146,937	176,615	32,808
		thousand USD	29,213	25,145	23,566	27,083	25,286	25,089	24,165	4,519
Coal	Anthracite	metric ton	11,173,117	11,874,721	16,549,087	15,469,879	19,631,472	22,495,942	4,286,929	-
		thousand USD	1,140,909	1,198,492	1,379,790	1,135,702	1,049,785	1,189,940	401,741	-
	Lignite	metric ton	6,471	2,398	3,843	5,010	1,523	90	-	-
		thousand USD	266	120	204	233	76	5	-	-

에서는 계단식 채광과 벨트 컨베이어 등이, 갱내채광에서는 저광식 및 중단채광법 등이 주로 사용되지만, 장비 노후화와 낮은 기계화 수준으로 인해 전반적인 채광 효율은 낮은 것으로 평가된다. 또한 천공·발파, 광석 운반 및 갱도 지보에서도 재래식 장비와 방법에 대한 의존도가 높으며, 심부채광에 필요한 통기·배수 및 지보 기술의 현대화도 충분하지 않은 실정이다(Koh and Lee, 2023).

2000년대 이후 일부 광산에서는 점보드릴 도입, 갱도 구역 확대 및 ICT 활용 등 채광 현대화가 추진되었으나, 전력·자재·설비 부족으로 인해 대부분의 광산은 여전히 자급자족 체제와 재래식 채광법에 의존하고 있다. 그 결과 광산 생산량은 1970~1980년대 전성기의 약 40~50% 수준으로 감소한 것으로 평가되며, 채광장비의 현대화와 자동화가 주요 과제로 남아 있다.

3.2.3. 선광 및 제련기술

북한의 선광공정은 광종에 따라 부유선별, 자력선별 및 비중선별 등을 적용하며, 특히 부유선별이 가장 우세하게

활용되고 있으며, 그 연유로 연구도 활발하다. 필요에 따라 복합 선별공정을 적용하고 재마광 및 정선을 통해 정광 품위 향상을 시도하고 있으며, 금-은, 동, 연-아연, 니오비움-탄탈륨, 티탄철석과 함께 흑연, 몰리브덴, 인회석 등의 선광 기술 개발도 이루어지고 있다. 그러나 일부 공정에서는 환경 부담이 큰 시약이 사용되고 있어 폐수처리 및 환경관리 측면에서 개선이 필요하다.

제련 분야는 철강과 비철금속으로 구분되며, 철강은 용광로와 전기로를 이용하지만 설비 노후화, 원료 및 전력 부족으로 생산성과 품질이 낮다. 비철금속 제련 역시 기술 및 설비 부족과 전력난으로 생산량과 품질이 제한적이다. 전반적인 제련기술은 남한에 비해 크게 뒤처져 있으며, 철강은 남한의 1980년대 중반, 비철금속은 1990년대 초반 수준으로 평가된다(Kim *et al.*, 2020). 한편 북한은 자원 부족과 폐기물 문제에 대응하기 위해 2020년 재자원화법을 제정하고 재활용 기술과 관련 연구를 강화하고 있으나, 전반적인 제련 인프라와 기술의 현대화는 여전히 중요한 과제로 남아 있다(Park, 2021).

4. 북한 지질학 및 광물자원 연구동향

4.1. 지질학 연구동향

4.1.1. 지질연구사

1928년 조선총독부 지질조사소가 1:1,000,000 축척의 한반도 지질도를 발간한 이후 다양한 축척의 지질도가 제작되었다. 분단 이후 북한은 이를 바탕으로 1:1,000,000~1:50,000 축척의 지질도 작성을 지속하였으며, 1956~1960년에는 러시아 지질학자들과 협력하여 약 70,000 km²에 대한 1:200,000 광역지질도를 작성하였다(Kang *et al.*, 1960). 1970~1980년대에는 1:50,000 및 1:10,000 축척의 정밀지질조사와 광물탐사를 집중적으로 수행하였다. 1996년에는 영문판 Geology of Korea와 개정된 1:1,000,000 지질도가 발간(그림 3a) 되었다(Paek *et al.*, 1996). 이 지질도를 참조하여 한국지질자원연구원에서도 1:1,000,000 지질도를 재발간하였다(KIGAM, 2019)(그림 3b). 북한에서는 2000년대 이후에는 1:200,000 및 1:50,000 수치지질도와 함께 지구화학도, 중력도, 지체구조도, 단열도 및 광상성인도 등 다양한 지질도가 제작되었다(Ministry of Natural Resource Development *et al.*, 2015).

해방 이후 북한은 1:50,000 축척 기반의 지질조사를 통해 층서를 정립하고 관입암류를 분류하는 한편, 화성활동과 광화작용의 관계를 규명하고자 하였다. 1958년부터는 러시아와 공동으로 두만강 지질조사대를 운영하였으며, 일부 관입암류에 대해 K-Ar 및 Ar-Ar 연대측정도 수행하였다. 1960년 발간된 ‘조선의 지질’은 해방 이후의 지질조사 성과를 종합한 최초의 대표적 지질자료집으로 평가된다(Kang *et al.*, 1960).

1988년 발간된 ‘조선지리전서(지질과 지하자원)’는 약 30년간 축적된 지질 및 광상자료를 종합한 것으로, 지질시대별 층서와 암석, 관입암류 및 지체구조를 정리하고 약 380여 개의 금속·비금속광상과 석탄광상에 대한 자료를 수록하였다(Kim *et al.*, 1988). 이어 1990년에는 ‘조선지질구성’ 6권과 ‘조선의 광상’ 3권이 발간되어 층서, 관입암, 지질구조 및 개별 광상의 지질·광상학적 특성을 체계적으로 정리하였다(Ri *et al.*, 1990; Kim *et al.*, 1991).

2000년대 이후에는 지질연구가 점차 현대화되면서 판구조론, 지체구조, 동위원소 지질연대 및 지구물리 연구가 확대되었다. 2011년 발간된 ‘조선의 지질’에는 806개의 연대 측정 자료와 다수의 저어콘 U-Pb 연대자료가 수록되어 기존 층서를 재정립하고 지질변천사를 새롭게 해석하였다(Han *et al.*, 2011; Jon *et al.*, 2011; Kang and Kim, 2011). 또한 2009~2012년 발간된 10권으로 구성된 ‘조선지질총서’는 층서, 관입암, 지체구조, 금속·비금속 및 연료자원 등

을 종합하였으며, 445개 광상의 지질·구조·광물 및 광화작용 자료를 수록하였다(Choe *et al.*, 2011a, 2011b; Kang *et al.*, 2011).

이러한 연구성과를 종합하면 북한의 지질학 연구는 1960년, 1988~1990년, 2010~2011년을 중심으로 세 차례 주요 성과가 집대성되었으며, 2000년대 이후 판구조론과 지질연대학 등을 도입하면서 현대적 연구로 발전한 것으로 평가된다. 또한 2015년 ‘지하자원개발전략’에서는 과학적 지질조사와 탐사기술의 현대화를 주요 과제로 제시하고 있다(Ministry of Natural Resource Development *et al.*, 2015).

4.1.2. 판구조론의 적용

1912년 Wegener가 제안한 대륙이동설은 1960년대 해양확장설과 맨틀대류설이 정립되면서 현대 판구조론으로 발전하였으며, 이후 모든 지질현상과 광상 형성을 설명하는 핵심 이론으로 자리 잡았다. 우리나라는 1970년대부터 판구조론에 기반한 연구가 본격화되었으며(Workman, 1972; Lee, 1974; Park, 1977), 1983년에는 이를 반영한 1:1,000,000 축척의 한반도 지체구조도가 발간되었다.

반면 북한에서는 1980년대 말부터 대륙판, 중앙해령, 섬호, 오피올라이트(ophiolite) 등 판구조론 관련 용어가 일부 연구에 등장하였으며(Li and Li, 1989; Kim, 1991; Li and Kim, 1993; Han and Han, 1997), 2000년대 이후 열곡대와 충돌대를 설정하고 광상 형성을 판구조론적으로 해석하는 연구가 시도되었다(Han and Pak, 2001; Han and Om, 2004; Yang *et al.*, 2007). 그러나 이 연구들은 기초 연구로서 대체로 일반적인 판구조론의 용어를 적용하는 수준에 머물렀다(Chae and Kim, 2015, 2017).

특히 1988년 발간된 ‘조선지리전서(지질과 지하자원)’에서는 육배사, 육향사, 습곡대 등 지향사-육대론에 기반한 지체구조 단위를 사용하여 한반도 대부분을 조중대륙에 포함시켰고(그림 4a), 함경북도 일대를 몽골-오호츠크 지향사에 속하는 것으로 해석하였다(Kim *et al.*, 1988). 이후 2000년대부터 판구조론, 플룸구조론 및 부가체 개념을 적용한 연구가 제시되었으며, 2011년 ‘조선의 지질’(Yun and Yang, 2011)에 이르러 판구조론의 기본 요소를 반영한 한반도 지체구조도가 체계적으로 제시되었다(그림 4b). 이는 북한 지질학이 전통적인 지향사-육대론에서 현대적인 판구조론적 해석으로 전환되는 중요한 계기로 평가된다.

4.1.3. 지질연대학의 도입

판구조론의 정립 이후 동위원소 지질학에 기반한 지질연대학의 발전은 지질학의 또 다른 도약을 이끌었다. 북한은 2000년대 초까지 러시아의 협력을 통해 열이온화 질량

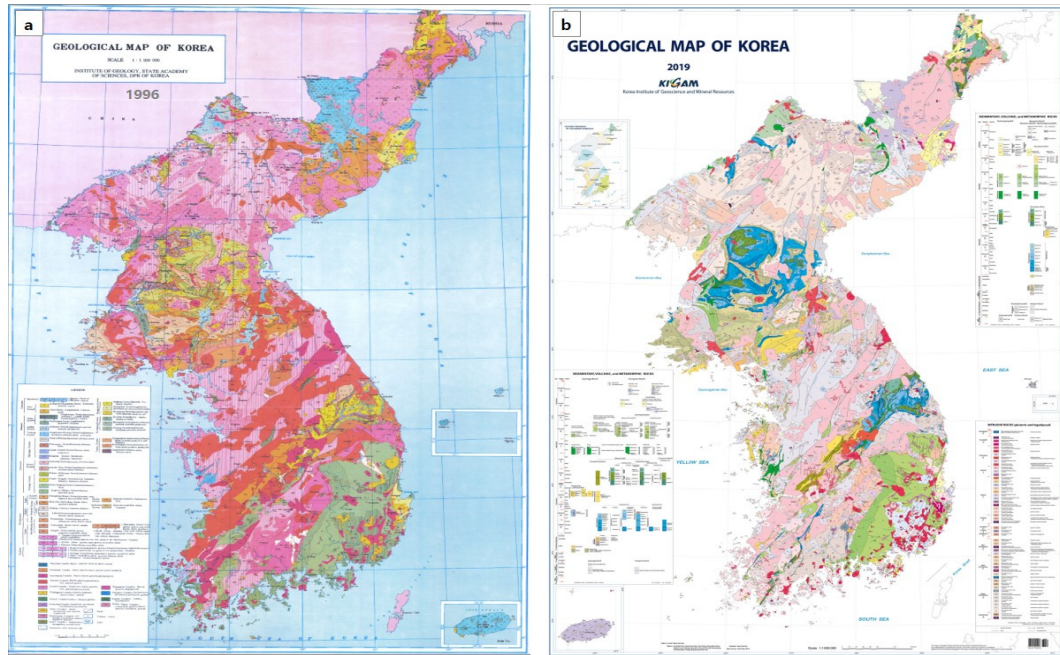


Fig. 3. 1:1,000,000 Geological map of Korean Peninsula (a: Institute of Geology, North Korea, 1996; b: Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, South Korea, 2019).

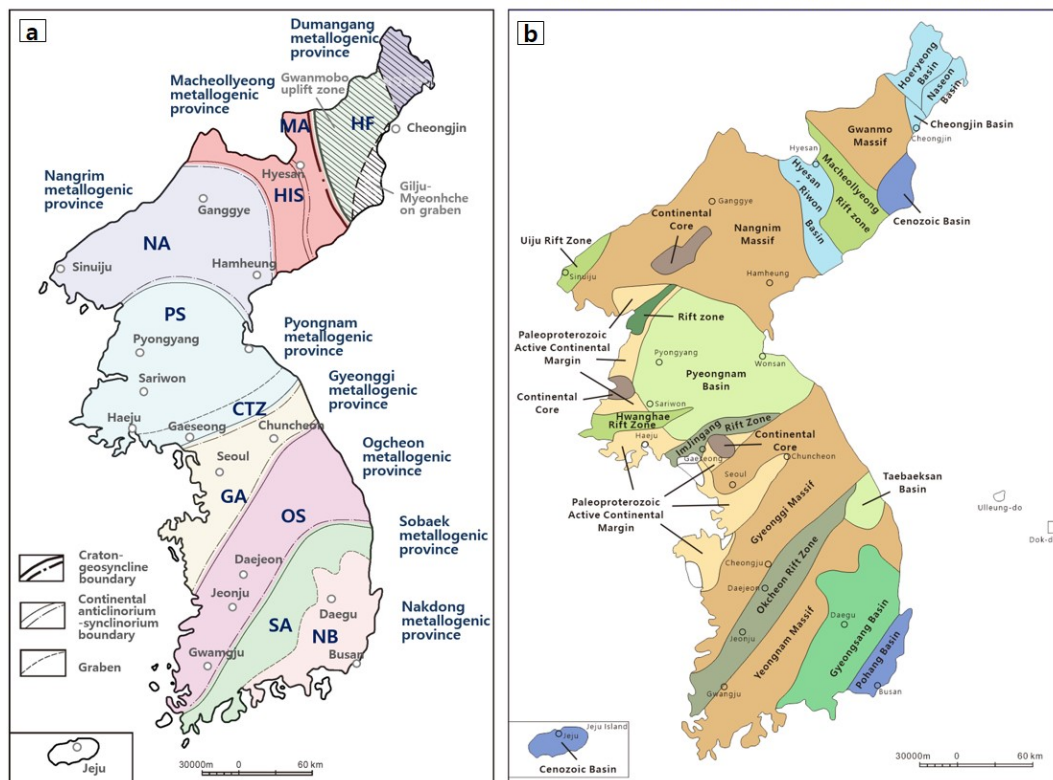


Fig. 4. Tectonic map of Korean Peninsula. a: Tectonic map based on the geosyncline (Kim *et al.*, 1988). HF: Hambuk Fold Belt, MA: Machellyerong Anticlinorium, HIS: Hyesan-Iwon Synclinorium, NA: Nangrim Anticlinorium, PS: Pyeongnam Synclinorium, CTZ: Central East-West Tectonic Zone, GA: Gyeonggi Anticlinorium, OS: Ogcheon Synclinorium, SA: Sobaeksan Anticlinorium, NB: Nakdonggang Basin, b: Tectonic map based on the plate tectonics (Yun and Yang, 2011).

분석기를 이용하여 K-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd, Pb-Pb 및 핵분열 비적법 등 다양한 연대측정법을 적용하였다. 동위원소 분석기기와 연대측정 기술의 확보는 판구조론과 함께 북한 지질과학의 발전 수준을 평가하는 중요한 지표이다.

북한의 지질연대학은 크게 3단계로 발전하였다(Kang and Kim, 2011). 1단계(1960~1980년)에는 K-Ar법을 중심으로 흑운모와 백운모 등 약 100건의 연대측정이 수행되었다. 2단계(1980년대 말~1990년대 중엽)에는 Rb-Sr법과 다입자 저어콘 U-Pb법이 도입되어 퇴적암, 화성암 및 변성암을 대상으로 약 500건의 연대측정이 이루어졌다. 3단계(1990년대 중엽~2010년)에는 다입자 저어콘 U-Pb법 약 1,000건과 Sm-Nd법 약 60건의 연대측정이 수행되면서 연구가 크게 확대되었다.

2000년 이후에는 중국과의 협력을 통해 SIMS (SHRIMP)와 LA-MC-ICP-MS를 활용한 저어콘 U-Pb 연대측정이 본격화되었다. 관련 연구 결과는 2003년 이후 북한 학술지에 발표되었으며(Yang *et al.*, 2004; Han and Kim, 2005; Kim *et al.*, 2006), 2011년 발간된 ‘조선의 지질’에는 806개 암석 시료의 연대측정 자료가 수록되었다(Kang and Kim, 2011). 이를 바탕으로 지층의 층서가 수정되고 조산운동 및 마그마 활동사를 반영한 지질연대표가 재정립되었다(Han *et al.*, 2011; Jon *et al.*, 2011).

또한 1996년부터 추진된 조선-중국 지질합작 연구를 통해 저어콘 U-Pb 연대측정 자료를 포함한 다수의 공동연구가 수행되었으며, 일부 연구는 SCI급 국제학술지에도 게재되었다(Zhao *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2007). 종합하면, 북한의 동위원소 지질학 및 지질연대학은 2000년대 이전에는 주로 러시아의 지원을, 이후에는 중국과의 협력을 기반으로 발전해 온 것으로 평가된다.

4.2. 광물자원 연구동향

4.2.1. 금속광물자원 연구

금속광물자원 가운데 연구논문이 가장 많이 발표된 광물종은 금-은, 연-아연, 철, 희토류, 몰리브덴, 중석, 동 순으로 나타난다(그림 5). 이는 북한에서 부존량과 생산량이 상대적으로 많은 주요 광물자원이 연구의 중심을 이루고 있음을 보여준다. 특히 희토류는 현재 본격적인 생산이 이루어지지 않고 주로 탐사 단계에 있음에도 높은 연구 빈도를 보여, 북한이 희토류 자원에 대해 상당한 관심을 가지고 있음을 시사한다.

논문의 주제어를 지질·광상, 광물, 탐사, 선광, 제련·침출, 분석 및 활용으로 구분하여 연구빈도를 파악한 결과, 금-은과 철은 지질·광상 및 선광 분야의 연구 비중이 높았으며, 연-아연, 몰리브덴 및 동 역시 지질·광상과 선광 연구가 주를 이루었다. 이는 광물자원의 탐사와 매장량 확보에 필요한 지질·광상 연구를 기반으로, 실제 정광 생산을 위한 선광기술 개발이 연계되어 이루어지고 있기 때문으로 해석된다. 선광 연구에서는 금-은, 연-아연, 몰리브덴 및 동은 부유선별, 철은 자력선별연구가 가장 높은 빈도를 나타냈다. 이러한 연구 경향은 북한의 광물자원 선광기술이 광물의 특성에 따른 전통적인 선별방법을 중심으로 발전하고 있음을 보여준다.

4.2.2. 비금속광물자원 연구

비금속광물자원의 연구 빈도는 금속광물자원에 비해 약 36%에 불과하며(그림 5, 6), 이는 북한 광업이 금속광물산업에 주로 집중하고 있음을 반영한다. 비금속광물자원 중 가장 많은 연구 논문을 보유한 광물종은 인회석(인광석), 석회석, 흑연, 질석, 마그네사이트, 규조토 순이다(그림 6). 인회석은 부존량이 풍부할 뿐만 아니라 북한의 핵심 산업

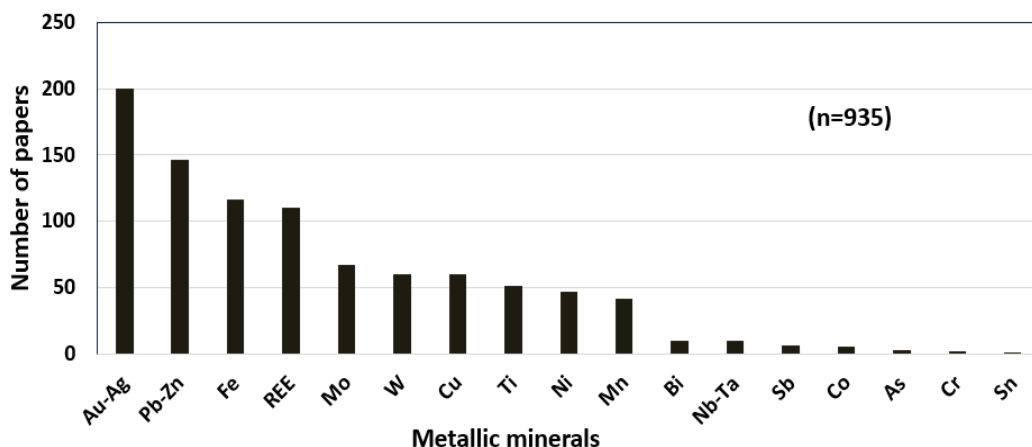


Fig. 5. Histogram showing the research frequency of metallic minerals.

인 농업에서 비료의 주요 원료광물로 사용되기 때문에 수요가 매우 높아 전략자원으로 취급되고 있기 때문이다. 한편, 북한의 대표적인 비금속광물자원인 마그네사이트의 연구 빈도가 높지 않은 것은 다소 특이하다.

비금속광물자원의 논문 주제어는 지질-광상, 광물, 탐사, 파쇄, 선광, 활용으로 구분하여 광물의 주제별 연구 빈도를 파악하였으며, 연구 논문 수가 상대적으로 풍부한 인회석과 흑연에 대해 분석하였다. 인회석과 흑연은 선광 연구에서 압도적으로 많은 연구가 진행되었으며, 특히 선광 연구 중 부유선별이 가장 활발히 이루어졌다. 이는 북한 인회석의 원광이 저품위(P_2O_5 3~10%)로 비료용으로 활용하려면 P_2O_5 함량을 30%로 상향시켜야 하기 때문이며, 흑연 역시 저품위이기 때문에 활용을 위해 고순도화가 필요하기 때문에 부유선별 연구가 가장 많이 이루어진 것으로 보인다. 그러나 비금속광물자원은 선광과정 이후 정제 및 가공과정을 거쳐야 고부가가치가 가능한데 이러한 활용연구는 매우 빈약하다.

5. 북한 광물자원 전망

북한은 일부 광물자원의 매장량이 풍부함에도 불구하고 생산량은 상대적으로 낮은 수준에 머물고 있다. 특히 석탄과 철광석은 1980년대 말 이후 생산량이 지속적으로 감소하여 절반 이하로 축소되었다. 이는 광산 설비와 자재의 노후화, 선광-제련기술의 낙후, 전력 부족, 수해에 따른 광산 침수 및 외국인 투자와 기술협력의 제한 등이 복합적으로 작용한 결과이다. 특히 채굴 이후의 선광과 제련 기술은 전통적인 수준에 머물러 있어 생산성과 부가가치 향상에 한계가 있다.

북한은 금속광물자원 개발의 주요 문제로 무질서한 개발에 따른 지반 침하, 광석의 저품위화, 채굴 심도 증가, 부산물 회수 및 광미 재활용 부족 등을 인식하고 있다. 비금속

광물자원 역시 가공품 생산 비중이 낮고 기술인력과 가공 기술, 설비 및 분석장비가 부족한 것으로 평가된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 북한은 국가기관과 전문가들이 참여하여 장기 계획인 ‘지하자원개발전략’(2015)을 수립하였다. 이 전략은 2015~2052년을 4단계로 구분하고, 심부지질 해석과 잠두광체 탐지, 1 km 이상 심부시추, 비전통 광상 탐사 및 1:50,000 지구화학탐사 확대 등을 주요 목표로 제시하였다. 또한 생산기술과 고효율 선별기술, 저품위·미광자원 이용기술 및 비금속광물 가공기술을 개발하고, 가공제품 생산기지를 구축하는 것을 추진 방향으로 설정하였다. 과학적 지질해석, 지구화학·지구물리탐사, 원격탐사 및 시추기술의 현대화와 광산개발에 연계된 과학기술 연구도 강조하고 있다.

한편 김정은 집권 이후에는 재자원화 정책을 강화하여 폐기물에서 유용자원을 회수·재활용하는 기술개발에 집중하고 있다. 이는 대북 제재와 원자재 부족에 대응하는 동시에 자원순환과 지속 가능한 경제체계 구축을 위한 주요 정책으로 추진되고 있다(Park, 2021).

6. 남북 광물자원 협력방안 제언

남북한 광물자원 협력은 북한 광물자원의 부존 잠재성 뿐만 아니라 개발 기술 및 수준, 생산·가공 인프라, 개발상의 문제점과 활용 현황 등을 종합적으로 고려하여 추진할 필요가 있다. 특히 북한의 광물자원 관련 자료와 정보가 제한적인 상황에서는 공동조사와 기술협력을 통해 자원의 잠재성과 경제적 가치를 평가하고, 이를 기반으로 단계적인 협력체계를 구축하는 것이 중요하다. 본 연구에서 분석한 북한 광물자원의 부존 및 개발 현황과 기술 수준을 토대로 다음과 같은 협력방안을 제안한다.

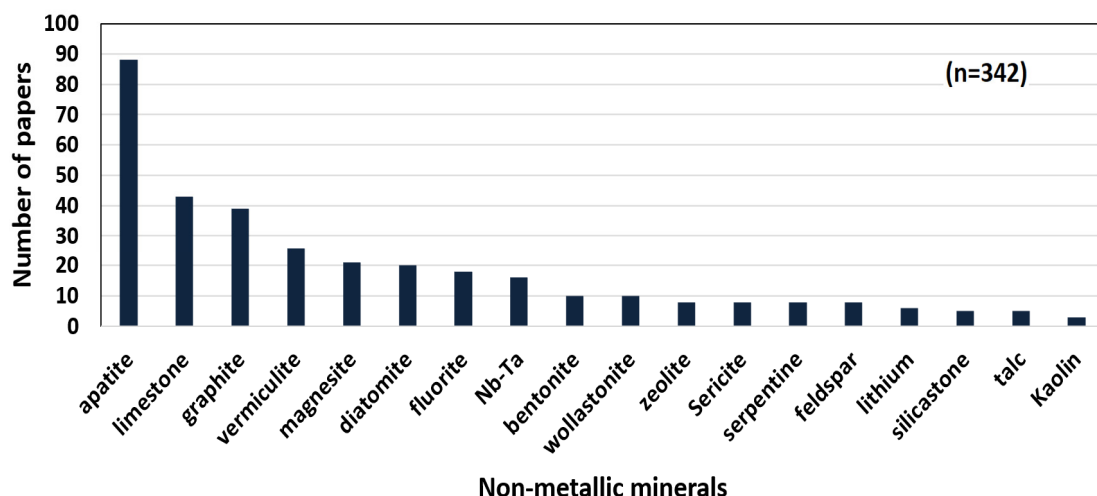


Fig. 6. Histogram showing the research frequency of non-metallic minerals.

첫째, 광물자원 개발 전 주기에 걸친 과학기술 협력이 필요하다. 북한은 탐사·채광·선광·제련·가공 및 활용 분야에서 현대적인 기술과 장비가 충분하지 않은 반면, 남한은 관련 연구개발 경험과 일부 핵심 기술을 확보하고 있다. 특히 한국지질자원연구원 한반도광물자원개발 융합연구단(DMR)에서 수행한 연·아연, 마그네슘 및 희토류 자원의 탐사기술 개발과 선광·제련 및 소재화까지의 전주기 연구 경험을 활용한다면 북한 광물자원의 생산성 향상과 고부가가치화에 기여할 수 있을 것이다.

둘째, 공동 지질조사와 광물자원 잠재성 평가를 통한 객관적인 자원정보 구축이 필요하다. 북한은 광물자원의 부존량·매장량, 품위 및 경제적 가치에 관한 최신 자료가 제한되어 개별 광상의 개발 가능성을 정확히 판단하기 어렵다. 따라서 주요 광상을 대상으로 부존 규모, 품위, 개발조건, 선광·제련 특성 및 경제성을 종합적으로 평가하여 개발 우선순위를 설정하고, 남북한이 공유할 수 있는 광물자원 데이터베이스를 구축할 필요가 있다. 이는 중장기 개발계획 수립과 사업 타당성 평가의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

셋째, 주요 금속광물의 공동개발 및 공급체계를 단계적으로 구축할 필요가 있다. 북한에서 생산되는 철, 동, 연·아연 등과 같이 남한의 수입 의존도가 높은 광물자원을 대상으로 공동개발 및 안정적인 공급체계를 구축한다면 북한의 생산능력 향상과 남한의 원료 공급망 안정화를 동시에 도모할 수 있다. 다만 사업 추진은 국제사회의 대북제재와 남북관계 및 관련 법·제도를 고려하여 단계적으로 이루어져야 한다.

넷째, 제련·제강 및 비금속광물 가공 분야의 기술협력을 확대할 필요가 있다. 북한의 금속생산 및 제련시설은 상당수가 노후화되어 생산성과 효율성에 한계가 있는 반면, 남한은 제철·제강 및 비철금속 제련 분야에서 높은 기술력과 설비 운영 경험을 보유하고 있다. 향후 여건이 조성될 경우 공정 및 설비 현대화를 지원하고, 북한의 마그네사이트·흑연·희토류 등을 활용하여 마그네슘 합금, 희토류 영구자석 및 흑연계 소재 등 고부가가치 소재산업으로 연계하는 방안을 검토할 필요가 있다.

다섯째, 남북관계 개선과 대북제재 완화에 대비한 협력 기반을 사전에 구축할 필요가 있다. 정부 차원에서는 과거 단천 및 정촌 지역에서 추진되었던 광물자원 협력사업의 성과와 문제점을 재검토하여 향후 재개 가능한 사업을 선별하고, 연구기관은 지질·광물자원 공동조사, 기술교류 및 자원잠재성 평가를 통해 협력 기반을 마련할 필요가 있다. 이는 향후 국내 기업의 북한 광물자원 개발 참여를 위한 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

7. 맺음말

북한의 광물자원 중 장기적인 개발 잠재성이 높은 광물은 금·은, 철, 연·아연, 마그네사이트, 흑연 등이며, 최근 희토류와 니켈·코발트, 바나듐 자원에 대한 관심도 높다. 금·은, 동, 철, 연·아연, 마그네사이트, 흑연 및 무연탄은 현재에도 북한 경제에서 중요한 핵심 광물자원이다. 그러나 금속광산은 무질서한 개발로 심부화·저품질화가 진행되고 있으며, 부산물 회수와 광미 재활용 기술도 부족하다. 비금속광산 역시 전문 가공기업소가 부족하여 고부가가치화에 한계가 있다.

북한의 지질학 연구 수준은 판구조론과 동위원소 지질학의 도입 시기를 통해 평가할 수 있다. 우리나라는 1970년대부터 판구조론을 적극적으로 도입한 반면, 북한은 2000년대 이후 본격적으로 적용하였다. 지질연대학은 2000년대 이전에는 주로 러시아와, 이후에는 중국과의 협력을 통해 발전하였다. 탐사·채광·선광·제련 분야에서도 남북한 간 기술 격차가 크다. 북한은 물리탐사 장비와 컴퓨터가 부족하여 자료처리 및 해석 능력이 낮고, 채광은 노후 장비와 재래식 채광법에 의존하고 있어 심부화에 대응하기 어렵다. 선광과 제련 역시 전통적인 기술과 낙후된 설비에 의존하여 현대화가 필요한 실정이다.

북한 학술지 분석 결과, 금속광물 중 연구 빈도가 높은 광물은 금·은, 연·아연, 철, 희토류, 몰리브덴, 중석, 동순으로 나타났다. 금·은과 철은 지질·광상 연구가, 연·아연·몰리브덴·동은 선광 연구가 많으며, 선광에서는 부유선별이 주로 연구되고 철광석은 자력선별 연구가 우세하다. 비금속광물 연구는 금속광물의 약 36% 수준으로, 인회석(인광석), 석회석, 흑연의 연구 빈도가 높다. 특히 인회석과 흑연은 부유선별 연구가 활발한 반면, 북한의 대표적인 마그네사이트는 상대적으로 연구 빈도가 낮다.

북한은 광물자원 개발의 문제점을 개선하기 위해 ‘지하자원개발전략’(2015)을 추진하면서 과학기술의 중요성을 강조하고 있다. 또한 최근에는 재자원화 관련 연구와 기술 개발도 추진하고 있어 광물자원의 효율적 이용과 재활용을 통한 자원 확보에도 관심을 높이고 있는 것으로 평가된다.

남북한 광물자원 협력은 탐사·채광·선광·제련·소재화로 이어지는 전주기적 과학기술 협력을 기반으로 공동개발 방안을 마련하고, 제도적·현실적 제약을 고려하여 단계적으로 추진함으로써 북한 광물자원의 개발 효율성과 부가가치를 높이는 동시에 남한의 전략광물 공급망 안정화에 기여하는 방향으로 추진되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2023년 한국연구재단 ‘남북 과학기술 학술협

력사업'으로 추진된 "남북 광물자원 공동개발을 위한 과학 기술적 협력방안 연구" 과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 원고를 세밀하게 검토하시어 유익한 의견을 주신 두분의 심사위원님들께 감사의 말씀을 드립니다.

REFERENCES

- Chae, S.H. and Kim, K.N., 2015, The distribution of the Imjin River tectonic zone and its tectonic evolution. *Geologic and Geographic Science (North Korea)*, 258, 32-34 (in Korean).
- Chae, S.H. and Kim, K.N., 2017, The distribution of Tumangang orogenic zone and its tectonic characteristics. *Geologic and Geographic Science (North Korea)*, 265, 16-17 (in Korean with English abstract).
- Choe, B.S., Heo, D.H., Yun, J.S., Sin, Y.H. and Jo, S.J., 2011a, The Geological Series of North Korea (v.6, Metallic Mineral Resources). Industrial Publishing House, Pyeongyang, 504 p (in Korean).
- Choe, B.S., Kang, M.S., Sin, Y.H., Kim, S.G., Ryu, D.M., Ju, J.G., Ri, J.C., Pak, Y.U. and Sin, C.C., 2011b, The Geological Series of North Korea (v.8, Non-metallic Mineral Resources). Industrial Publishing House, Pyeongyang, 535 p.
- Chung, J., 2024, 2020-2021, Minerals Yearbook: North Korea (Advance Release), 141-148, USGS.
- DPRK, 2009, Mining Law of Democratic People's Republic of Korea.
- Han, C.S. and Han, R.Y., 1997, Magmatism of the mediosilicic granitoid with Cu mineralization in Hyesan-Unhung district. *Geology Science (North Korea)*, 185, 11-15 (in Korean with English abstract).
- Han, R.Y. and Kim, H., 2005, A geochronological study on the granitoids of Ryonhwasan complex by single zircon U-Pb method (ICP-MS). *Geologic and Geographic Science (North Korea)*, 217, 8-11 (in Korean with English abstract).
- Han, R.Y. and Om, H.C., 2004, Magmatism and classification of Early Precambrian igneous rocks. *Geologic and Geographic Science (North Korea)*, 215, 38-40 (in Korean).
- Han, R.Y. and Pak, S.C., 2001, Characteristics of magmatism in Tuman River fold belt. *Geologic and Geographic Science (North Korea)*, 203, 2-5 (in Korean with English abstract).
- Han, R.Y., Ri, U.R., Kim, Y.M., Kim, J.R., Jo, I.W., Pak, S.C. and Kim, S.S., 2011, Magmatism (Ch.2). In: *Geology of North Korea. Science and Technology Press, Pyeongyang*, 151-259 (in Korean).
- ICMM, 2006, International reporting template for the public reporting of exploration results, mineral resources, mineral reserves (CRIRSCO).
- I-RENK, 2020, Information system for resources of North Korea. SONOSA, <https://irenk.net> (November 29, 2024).
- Institute of Geology, State of Academic Sciences (NPRK), 1996, Geological Map of Korea.
- Jon, G.P., Pak, H.W., Kim, J.N., Yang, J.H., Li, S.R., Jo, I.W., Kang, I.S., Kim, Y.N., Li, Y.S., Kim, G.C., Rim, D.S. and Pak, U., 2011, Stratigraphy (Ch.1). In: *Geology of North Korea. Science and Technology Press, Pyeongyang*, 3-150 (in Korean).
- Kang, C.S., Kim, M.G., Kim, M.S., Kim, J.R., Kim, C.W., Ro, S.W., Ri, B.G., Ri, J.H., Rim, G.M., Rim, B.Y., Ma, G.H., Pak, S.W., Pak, T.H. and Pak, U.G., 1960, The geology of Korea. Pyeongyang, Science and Technology Press. 327 p (in Korean).
- Kang, H.G. and Kim, H., 2011, Isotopic Geochronology (Ch.7). In: *Geology of North Korea. Science and Technology Press, Pyeongyang*, 412-442 (in Korean).
- Kang, M.S., Choe, B.S., Ryu, D.M., Heo, D.H., Rim, D.H. and So, U.R., 2011, The Geological Series of North Korea (v.7, Metallic Mineral Resources), Industrial Publishing House, Pyeongyang, 439 p (in Korean).
- Kang, M.S., Sin, Y.H., Pak, Y.U., Kang, S.I., Ko, J.M., Kim, C.H. and Rim, D.H., 2010, The Geological Series of North Korea (v.4, Intrusive Rocks), Industrial Publishing House, Pyeongyang, 652 p.
- KIGAM, 2019, 1:1,000,000 Geological Map of Korea. KIGAM (in English).
- Kim, C.W., Ryu, J.M., Ri, S.R., Yu, H.Y., Seo, W.S., Kim, Y.H., Kim, J.H., Han, C.S., Ri, M.C., Kim, Y.N., Choe, W.J., Jon, G.P., Kim, J.G., Jung, S.K., Paek, S.B., Han, B.S. and Kim, T.G., 1991, The Mineral Deposits of North Korea (v.3), Publishing House of the Science and Encyclopedia, Pyeongyang, 400 p.
- Kim, G.C., 1991, Greenstone belt and ore deposits. *Geology Science (North Korea)*, 159, 38-43 (in Korean).
- Kim, G.W., Kim, M.G., Kim, Y.H., Kim, H.J., Won, B.G., Lee, Y.J., Chung, C.S. and Choe, J.H., 2020, The North Korea's industry (I, II), KDB bank.
- Kim, H., Kang, H.G. and Ri, W.U., 2006, Archaeozoic geological and chronological structure framework. *Journal of KIM IL SUNG University, Natural Science*, 52, 143-149 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.M., Paek, R.J., Kim, M.O., Kim, J.G., Han, R.Y., Kang, H.G., Ri, D., Sin, Y.U., Kim, J.H., Jon, J.H., Pak, I.S., Han, B.S., Jung, S.I., O, H.S., Ri, S.R., Yang, S.B., Kim, G.R., Seo, W.S., Jang, J.S., Kim, H.S., Kim, H.O., O, S.A., Pak, I.S., Ri, M.C., Ko, D.S., Kang, S.Y., Kim, R.H., Kim, C.W., Kim, Y.H., Hyun, Y.S., Kim, J.Y., Kim, R.S., Yun, B.J., Um, H.Y., Ju, Y.J., Jon, G.P., Ri, U.R., Kim, Y.N., Han, B.J., Choe, W.J., Han, C.S., Jo, I.H., Hong, T.R. and Kim, S.I., 1988, The Complete Works of the Korean Geography (Geology and Mineral Resources), Publishing House of the Education Books, Pyeongyang, 688 p.
- Koh, S.M. and Lee, B.H., 2023, Cooperative research planning on the scientific cooperation for the joint development of mineral resources in North Korea. North-South Science and Technology Cooperation Report, MSIT (in Korean with English abstract).
- Koh, S.M., Lee, G., You, B.W., Kim, N. and Lee, B.H., 2018, Geology and Mineralization of the Northern Korean Peninsula. Daejeon, KIGAM report, 322 p (in Korean with English summary).
- Korean Industrial Standards Committee, 2020, Standard for estimation of ore resources and reserves (KS E 2001:2020).
- KORES, 2011, Situation of mineral resources development of North Korea. 647 p (in Korean).
- K-stat, 2024, <https://stat.kita.net> (November 18, 2024).
- Lee, S.M., 1974, The Tectonic Setting of Korea, with relation to

- Plate Tectonics. Journal of the Geological Society of Korea, 10, 25-36 (in English with Korean abstract).
- Li, D. and Kim, R.N., 1993, On the formation period of the skeletal structure in the topography of North Korea. Geology Science (North Korea), 172, 40-45 (in Korean).
- Li, D. and Li, M.H., 1989, On the rift-related characteristics of the Baekdu rift zone. Geologic and Geographic Science (North Korea), 148, 42-45 (in Korean).
- Ministry of Natural Resource Development, Kim Il Sung University, Kim Chaek University of Technology, Sariwon University of Geology, Pyongsong University of Coal Mining, Institute of Geology (State Academy of Sciences), Institute of Earth Environmental Information, Central Mineral Survey Team. 2015, Mineral Resource Development Strategy, North Korea (draft), 102 p.
- Paek, R.J., Kang, H.G., Jon, G.P., Kim, Y.M. and Kim, Y.H., 1996, Geology of Korea, Foreign Languages Books Publishing House, Pyeongyang, 629 p.
- Park, B.K., 1977, Discussion on the Korean Peninsula, Gondwana and Pangaea. Plate Tectonics. Journal of the Geological Society of Korea, 13, 91-96 (in Korean with English abstract).
- Park, C.J., 2021, Current status of resource recycling in North Korea. Weekly KDB report (Focus on North Korea) (in Korean).
- Ri, J.N., Ryu, J.R., Paek, Y.S., Ham, P.S. and Sin, S.G., 1990, Geological constitution of North Korea (v.1, Archean and Proterozoic stratigraphy). Industrial Publishing House, Pyeongyang, 363 p (in Korean).
- USGS, 2024, Mineral commodity summaries.
- Workman, D.R., 1972, The tectonic setting of the Mesozoic granites of Korea. Plate Tectonics. Journal of the Geological Society of Korea, 8, 67-76 (in English).
- Wu, F.Y., Han, R.H., Yang, J.H., Wilde, S.A., Zhai, M.G. and Park, S.C., 2007, Initial constraints on the timing of granitic magmatism in North Korea using U-Pb zircon geochronology. Chemical Geology, 238, 232-248.
- Yang, J.H., Kim, J.N., Kim, K.C. and Choe, W.J., 2004, Studies on zircon age of Jangphung gneiss with SIMS method. Journal of KIM IL SUNG University, Natural Science, 50, 158-161 (in Korean with English abstract).
- Yang, J.H., Rim, T.S. and Yom, H.S., 2007, Study on the characteristics of petrochemistry and geochemistry in forming of the Hwanghae Group. Geologic and Geographic Science (North Korea), 225, 14-16 (in Korean with English abstract).
- Yun, D.S. and Yang, J.H., 2011, Geotectonics (Ch.6). In: Geology of North Korea. Science and Technology Press, Pyeongyang, 379-411 (in Korean).
- Zhao, G., Cao, L., Wilde, S.A., Sun, M., Choe, W.J. and Li, S., 2006, Implications based on the first SHRIMP U-Pb zircon dating on Precambrian granitoid rocks in North Korea. Earth and Planetary Science Letters, 251, 365-379.