

위성사진을 활용한 북한 지역 광산의 광해 현황 연구

윤성문^{1)2)*} · 장항석¹⁾ · 윤성택²⁾ · 김덕민¹⁾

Investigating the Status of Mine Hazards in North Korea Using Satellite Pictures

Sungmoon Yoon*, Hangsuk Jang, Seong-Taek Yun and Duk-Min Kim

(Received 26 November 2018; Final version Received 24 December 2018; Accepted 24 December 2018)

Abstract : Recently, the possibility of promoting inter-Korean economic cooperation is increasing because the tension between South and North Korea is being reduced. Consequently, the interest in North Korea's mine development projects is growing as one of the aspects of inter-Korean economic cooperation. In the promotion of cooperation in mining development, mine hazard risk management should be considered. However, there is a lack of information pertaining to mine hazards in North Korea. To this end, this study was performed to determine the status of mining-related hazards in 12 mines in North Korea by using the image analysis feature of Google Earth. From the results obtained, we observed some mining-related hazards such as tailing dam failures, yellow boy phenomenon, and land subsidence.

Key words : North Korea, Mine hazard, Image Analysis, ine development, Inter-Korean Economic Cooperation

요 약 : 최근 남한과 북한의 긴장완화에 따라 남북 경제협력사업 추진 가능성이 높아지고 있다. 북한의 광산 개발 사업은 남북 경제협력사업으로 많은 관심을 받고 있는 상황이다. 북한 광산개발 혹은 광산분야 협력사업 추진 시 광해위험관리에 대한 고려를 해야한다. 그러나, 북한의 광해실태 정보는 부족한 상황이다. 이에 본 연구에서는 구글 어스를 활용하여 북한의 12개의 대표 광산에 대하여 광해현황을 조사하였다. 구글 어스 영상 분석 결과, 북한 지역의 광물찌꺼기 적치장 붕괴, 적화현상, 지반침하 등의 광해를 확인할 수 있었다.

주요어 : 북한, 광해, 영상 분석, 광산 개발, 남북 경제협력

서 론

북한의 산업구조 내 광업비중은 2017년 기준으로 전체 GDP의 11.7%에 달한다(The Bank of Korea, 2018). 이는 광업이 북한의 경제에서 매우 중요한 부분이며, 그만큼 광산 활동이 활발하다는 것을 의미한다. 남한의 경우는 2017년 기준으로 광물자원 수입의존도가 93.4%이며, 금속광물 기준으로는 99.6%의 광물자원을 수입하고 있는 상황이다. 이러한 남북의 경제적 특징으로 인하여, 많은 전문가들은 광물자원 관련 경제협력이 매우 활발해질 것으로 예상하고 있으며(Jung *et al.*, 2015), 다양한 연구기관에서 남북의 광물자원 분야 경제협력에 대하여 연구하고 있다. 남북 광산

개발 협력 시 광해문제는 투자결정 등에서 고려되어야 할 중요한 문제이다(Cho and Lee, 2017). 협력 혹은 투자 유망한 북한의 광산들은 대부분 기존에 개발 중인 광산이 대부분이기 때문에 기존의 광해 발생 현황과 더불어 향후 발생할 가능성이 있는 광해를 파악하여 사업계획 수립 시 반영되어야 한다. 그러나 광산개발 시 필연적으로 발생하게 되는 북한 지역 광해에 대한 기존 연구 자료는 상대적으로 부족한 상황이다.

이에 본 연구는 구글어스 이미지를 활용하여 북한의 광해현황을 파악하는 것을 목적으로 수행되었다. 한편, 일부 선행 연구에서 광산주변에서 발생하는 광해에 대해서 연구를 수행하였지만, 접근성 부족으로 인해 정보가 매우 제한적이었다. 따라서 북한 지역의 광해 발생 현황에 대해 체계적인 정보 수집 및 연구를 위하여 다양한 접근방법을 고민하여야 할 필요성이 대두되고 있다. 북한의 광해현황을 파악하기 위해 북한관련 환경관련 문헌정보 분석, 광업중사 탈북민 면담 등 다양한 방법이 있을 수 있으나, 북한의 광산 지역의 인공위성 사진 분석 방법만이 현실점에서 자료의

1) 광해관리공단 광해기술원

2) 고려대학교 지구환경과학과 및 그린스쿨

*Corresponding Author(윤성문)

E-mail; a45jung@mireco.or.kr

Address; Institute of Mine Reclamation Technology, Mine Reclamation Corporation(MIRECO), Wonju 26464, Korea

접근이 용이하고 신뢰성 있는 정보 획득가능한 방법이라고 판단된다. 연구추진체계는 ① 북한의 광상별 대표적인 광산을 선정하여, ② 구글어스에서 제공되는 이미지를 활용하여 광해현황을 파악하고, ③ 그 특성을 분류하는 순으로 진행하였다.

선행연구

북한의 광산지역 환경 문제, 즉 광해 문제에 대한 연구는 북한 지역의 정보 취득 및 조사를 위한 접근이 매우 제한적이기 때문에 다양하게 진행되지 않았다. 그러나 일부 연구 자료에서 광해 문제의 심각성에 대해서 제한적 조사와 연구가 이루어졌다. 선행 연구는 크게 북한의 광해 문제를 직접적으로 연구한 경우, 그리고 일반 환경 문제(수질오염, 토양오염 등)의 원인으로 광해 문제를 언급한 경우로 분류할 수 있다. 우선, 광해문제를 직접적으로 언급한 경우로는 Cho and Lee(2017)의 연구 결과(‘북한의 광해 원인 분석 및 실태에 관한 연구’)가 유일하다. Cho and Lee(2017)는 인문·사회적 관점, 새터민 심층 면담, 북한 광업제도 및 제도 운영 현황, 광산의 운영 실태를 통하여 광해 원인을 분석하였다. 또한 구글어스 공간영상 분석을 활용하여 무산광산 및 홀동광산에서 발생한 광해 발생 사례를 일부 제시하였지만, 광종 및 광산수가 북한의 광해현황을 파악하기에는 대표성이 부족한 것이 사실이다. 그밖에, 환경 문제의 원인으로 광해를 지목한 연구 결과로는 Kim *et al.*(2008)이 있는데, 이 연구에서는 두만강의 수질오염 원인으로서는 무

산광산의 광물찌꺼기 유출을 지적하고, 광산지역과 대도시 공장지역을 통과하는 하천이 극심하게 오염되었을 것으로 추정하였다. DPRK and UNEP(2012)가 발간한 보고서에서는 광산지역을 통과하는 하천 지류 중 일부에서 수질이 악화되고 있으며, 광산배수 등의 배출로 인하여 제련소 및 광산 주변의 토양 내 중금속의 함량이 오염기준치를 상회한다고 보고하고 있다. 그러나 지금까지의 선행 연구에서는 무산광산, 등 일부 특정한 광산에 대하여만 언급하고 있어 북한 지역 광해에 관한 대표성을 갖기가 어렵다. 이에, 북한 내 다양한 광산에서의 광해 발생 현황에 대한 연구가 필요한 실정이다.

연구 자료 및 분석 방법

북한에서 산출되는 유용광물은 42종이며, 가행 혹은 휴광 중인 광산은 총 728개로 추정하고 있다(KORES, 2011). 이 중 금속광산이 260개, 석탄을 제외한 비금속 광산이 227개, 석탄광이 241개로 파악되고 있다(Table 1).

북한 광산지역의 광해 실태를 명확히 파악하기 위해서는 모든 광산에 대한 광해실태조사가 필요하지만, 본 연구에서는 이들 728개의 광산 중 광산의 대표성, 위치 정보 확보의 용이성, 광종, 지역적 분포 등을 고려하여 Fig. 1과 같이 12개의 광산을 선정하였다. 선정된 광산은 석탄광산 3개소, 철광산 3개소, 금·은광산 2개소, 구리광산 2개소, 연·아연광산 1개소, 중석광산 1개소의 북한내 대표적 광산이다. 탄광의 경우 북한내 대표적 탄좌인 순천지구, 함남지구,



Fig. 1. Distribution of 12 mines in this study.

Table 1. The status of mines in North Korea

Item	Metal	Non-metal	Coal	Total
Number of mineral species	22	19	1	42
Number of mines	260	227	241	728

Table 2. Mineral types of studied mines

Mineral type	Coal	Iron	Gold/Silver	Copper	Others	Total
Number of mines	3	3	2	2	2	12
Name of mines	Gowon, Jikdong, Heukryeong	Musan, Deokhyeon, Mandeok	Unsan, Holdong	Hyesan, Cheongnyeong	Geomdeok, Mannyeon	-

강동지구에 각 1개의 광산(직동탄광, 고원탄광, 흑령탄광)을 선정하였으며, 철광산은 북한내에서 대표적인 철 채굴지인 함경북도 무산군 무산광산, 평안북도 의주군 덕현광산, 함경남도 허천군 만덕광산을 선정하였다. 금·은 광산의 경우 규모, 생산기간 등을 고려하여 황해북도 홀동광산, 평안북도 운산광산을 선정하였다. 구리광산의 경우도 대표적인 구리광산에 위치하며, 생산이 지속적으로 이루어지고 있는 양강도 혜산광산, 자강도의 3월5일청년광산을 선정하였다. 기타 광산으로는 남한과의 공동개발이 추진되었던 연·아연을 생산중인 검덕광산, 중석 최대 부존지역에 위치한 만년광산을 선정하였다. 광산의 위치는 통일부 북한정보포털에서 제공하는 자료를 활용하였다.

선정된 광산의 광종별 분포를 살펴보면 석탄광산 3개소, 철광산 3개소, 금·은광산 2개소, 구리광산 2개소, 기타 금속광산 2개소이다(Table 2).

선정된 12개의 광산의 광해 발생 실태를 파악하기 위한 영상분석에서는 구글어스(Google Earth)에서 제공하는 영상을 사용하였다. Sagong *et al.*(2007)과 Kim *et al.*(2012)은 구글어스 공간영상이 접근이 제한적인 북한의 지리정보를 효과적으로 대체할 수 있는 유용한 자료라고 판단하였다. 실제로 Kim *et al.*(2012)은 구글어스를 활용하여 북한의 호수들의 특성을 체계적으로 분석하였다. 또한 Ki(2016)는 구글어스를 활용해 공간영상을 분석하여 함흥시, 사리원시 등 도시에서 발생하는 환경오염과 산림파괴 등 자연환경 문제를 연구하였다. 특히, 황해남북도의 산림파괴 실태를 시계열적으로 분석하였다. 이처럼 북한의 광산에 대한 접근이 불가능한 상황에서 구글어스 영상을 활용하여 북한 광산지역의 광해실태를 파악하는 연구는 향후 남북 광물자원 및 광해관리 협력사업의 기초자료를 확보한다는 차원에서 충분한 의의가 있을 것이라 판단된다.

광해발생의 유형은 물리적 및 화학적 피해로 크게 분류할 수 있다. 물리적 피해는 산림훼손, 지반침하, 소음/진동,

분진, 폐시설물 등의 피해로 분류할 수 있으며, 화학적 피해는 수질오염 및 토양오염 등으로 세분할 수 있다. 광해는 한 가지 유형으로 나타나기도 하지만 주로 복합적으로 발생한다(Ji and Lim, 2009). 그러나 구글어스 공간영상 분석으로는 앞서 언급한 모든 유형의 광해를 분석하기에는 한계가 있다. 즉, 영상으로 파악이 불가능한 수질오염(단, 백화현상, 적화현상 발생의 경우는 파악 가능), 토양오염, 소음/진동 등의 광해는 구글어스 영상으로 판단이 불가능할 것으로 판단된다. 이에, 본 연구에서는 구글영상으로 분석이 가능한 광해인 산림훼손, 지반침하, 광물찌꺼기 유실 및 적치장 관리 실태, 산성광산배수로 인한 적화현상 및 백화현상을 중심으로 분석을 실시하였다. 나아가 본 연구에서는 구글어스를 활용하여 파악된 개별 광산의 광해 현상을 광종별로 분류하여 북한의 유형별 광산에서 나타날 수 있는 광해 발생 특징을 평가하였다.

북한 지역의 광해조사 결과

주요 광산으로 선정된 무산광산, 검덕광산, 혜산광산 등 12개 광산에 대하여 구글어스의 영상을 바탕으로 발생한 광해를 조사하였다.

무산광산

무산광산은 북한의 최대 철광상 부존지역인 함경북도 무산군 창령로동자구에 위치해 있으며, 자철광을 생산하고 있다. 17세기 초부터 소규모 채굴이 시작되어 1910년부터 본격적으로 개발되었다. 가채매장량은 13억 톤(Fe 24%), 확정매장량은 20억 6231만 톤(Fe 24%)으로 알려져 있으며, 연간 생산량은 철정광 350만 톤(Fe 65%)이다(KORES, 2011).

무산광산을 구글 영상으로 확인한 결과, 노천채광으로 인한 채굴적 및 폐석 적치로 인하여 식생 훼손이 확장되고



Fig. 2. Open-Pit mining (a,b) and Recycling of tailing sediment (c) at the Musan iron mine.



Fig. 3. Tailing dam failure (a), new tailing dam (b), and discharge of mine tailings to the East Sea (c) at the Geomdeok mine.

있음을 확인할 수 있었다(1a, 2b) 폐석 적치량이 지속적으로 증가하고 있었으며(Fig. 2 A-B-C지역), 광물찌꺼기가 하천으로 유출되고 있었다. 특히 하천으로 유출된 광물찌꺼기를 회수하는 모습도 확인되었다(Fig. 2c). 기존의 연구자료(Cho and Lee 2017, Myeong, 2018)에서 두만강 광산 주변을 통과하는 경우 광물찌꺼기 유실이 되고, 수질 오염이 심각해지고 있다는 연구내용과 일치한다.

검덕광산

검덕광산은 북한의 최대 연·아연 광산 부존지역인 함경남도 단천시 금골동에 위치해 있다. 1500년대부터 개발이 시작되어, 1937년부터 본격적으로 개발되기 시작하였다. 매장량은 광석량 265,748천 톤(Pb 0.88%, Zn 4.21%)이며, 생산량은 연간 광석 300만 톤 규모이다(KORES, 2011). 검덕광산 주변에 위치하며 마그네사이트를 채굴하는 룡량광산의 광해 발생 영향을 명확히 구분할 수 없어, 본 연구에서는 두 광산의 구분 없이 광해 실태를 파악하였다.

검덕광산의 경우, 제1광물찌꺼기 적치장에서 붕괴사고가 있었던 것이 확인되었으며(Fig. 3a), 제1광물찌꺼기 적치장을 대체하기 위하여 신규 적치장이 건설되었다(Fig. 3b). 또한 검덕광산 및 인근의 룡량광산 등에서도 광물찌꺼기가 지속적으로 유출되고 있었다. 단천시에 있는 남대천 및 북대천의 하구의 모습을 비교해 보면, 침전물의 색이 다

름을 볼 수 있다. 즉, 광물찌꺼기가 북대천을 따라 해안까지 50km 이상 유실되어 있음을 확인하였다(Fig. 3c).

혜산광산

혜산광산은 북한의 대표적인 구리광산으로서 량강도 혜산시 마장동에 위치해 있다. 1930년대 개발 당시 석탄이 채굴되었으나, 1966년 동·연·아연광이 발견되어 본격적으로 개발되기 시작하였다. 매장량은 동광석 기준으로 16,152만 톤(Cu 1.49%)이며, 생산량은 광석 35만 톤(Cu 1.49%)이다(KORES, 2011).

혜산광산의 경우 광물찌꺼기 적치장의 법면 침식이 확인되었으며, 적치담 하부에서 침출수가 유출되고 있었다(Fig. 4a). 또한 압록강 유역으로 광산배수를 방출하고 있었다(Fig. 4b, 4c).

만덕광산

만덕광산은 함경남도 허천군 만덕로동자구에 위치해 있다. 1906년 광상이 발견되었고, 1921년부터 광산이 개발되었다. 주요 광종은 철(황화철, 자철광) 및 동, 중석이며, 매장량은 자철광 2억 톤(Fe 40~45%), 동광 1,500만 톤이다(KORES, 2011).

만덕광산 광물찌꺼기에 포함되어 있는 황화물질 산화로 인하여 적화현상이 광범위하게 발생하고 있으며, 적화현



Fig. 4. Leachate from tailing (a) and mine drainage (b) at the Hyesan Cu mine, and ‘Yellow boy’ phenomenon in the Ablok River which is located downstream of the mine (c)

상이 하천을 따라 25km에 걸쳐 나타난다(Fig. 5). 또한 광물찌꺼기 적치장에서 침출수 발생이 확인되었으며(Fig. 5a), 광물찌꺼기의 재활용을 위한 활동으로 인하여 2차적인 오염이 발생하고 있었다(Fig. 5b).

3월5일 청년광산

“3월5일 청년광산”은 북한의 주요 동광산 중의 하나로서 자강도 증강군 호화로동자구에 위치해 있다. 광종은 동(금, 몰리브덴)이며, 1964년에 광상이 발견되어 1980년 광산이 운영되기 시작하였다. 예상매장량은 약 3억 톤, 생산량은 선광처리 기준으로 1,500만 톤/년이다(KORES, 2011).

“3월5일 청년광산”에서는 노천채굴이 진행되고 있으며

(Fig. 6a), 채굴적으로부터 남쪽 3.5km 지점에는 광물찌꺼기 적치장이 위치해 있다(Fig. 6b). 하천 범람을 방지하기 위하여 하천 주변에 폐석을 방치하거나 사용하고 있었으며, 일부 구간에서 침출수가 확인되었다(Fig. 6c, 6d).

고원탄광

고원탄광은 함경남도 수동구 장동동에 위치하며, 함남지구탄광연합기업소 소속이다. 광종은 발열량 6,000~6,800 kcal/kg인 무연탄이다. 예상매장량은 약 3억 톤이며, 생산능력은 100만 톤/년이지만 2005년 기준 생산량은 10만 톤이다. 함남지구탄광연합기업소에는 고원탄광 외에 12월16일 탄광, 교동탄광, 운곡탄광, 문필탄광, 수동탄광, 경둔탄

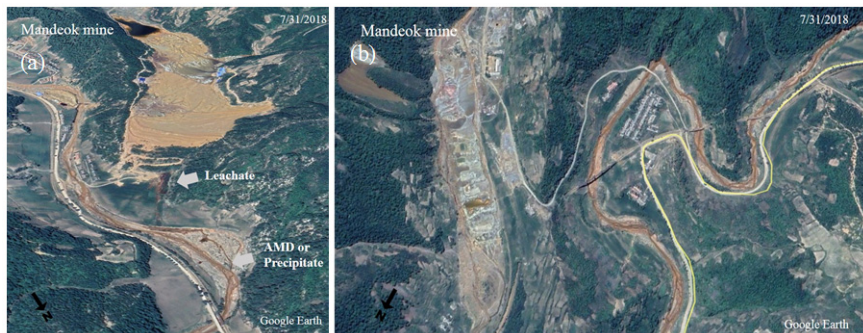


Fig. 5. Tailing dam and leachate at the Mandeok iron mine (a), and ‘Yellow Boy’ phenomenon near the mine (b).



Fig. 6. Open-pit mining (a) and Tailing dam (b) at the Cheongnyeon mine, Mine drainage (c, d) occurring in the Cheongnyeon mine area.

광, 둔전탄광 등이 포함되어 있다(KORES, 2011). 고원탄광에서는 폐석장 인근에 식생조성사업을 실시한 것으로 판단되며(Fig. 7a), 일부 폐석장에는 주변식생으로부터 폐석장에 식생이 전이되고 있었다(Fig. 7b).

만년광산

만년광산은 북한의 최대 중석광상 부존지역인 황해북도 신평군 만년로동자구에 위치해 있다. 광종은 텅스텐(-철, 동, 망간)으로 1940년대부터 개발이 시작되었다. 매장량은 약 2,000만톤(WO_3 0.8%)이며, 생산량은 2004년 기준으로 정광 2,538톤/년(WO_3 70%)을 생산한다(KORES, 2011). 만년광산의 경우, 2015년에는 광물찌꺼기 적치장 상부에

서 광물찌꺼기 적치외의 활동이 없었으나(Fig. 8c), 2017년에는 광물찌꺼기 적치장 상부에서 광물찌꺼기를 활용하기 위한 별도의 활동을 관찰할 수 있었다(Fig. 8d). 또한 폐석이 갭구 주변에 유실방지 시설 없이 적치되고 있었다(Fig. 8b).

운산광산

북한 금 매장량의 60%를 차지하고 있는 운산광산은 평안북도 운산군 북진로동자구에 위치한다. 광종은 금과 은이며, 1896년 광상이 발견된 이후 1897년부터 개발되었다. 매장량은 광석기준으로 150만 톤(Au 10g/톤, Ag 9~10g/톤)이며, 생산량은 금속기준으로 금 630kg/년, 은 1.4톤/년이다(KORES, 2011).

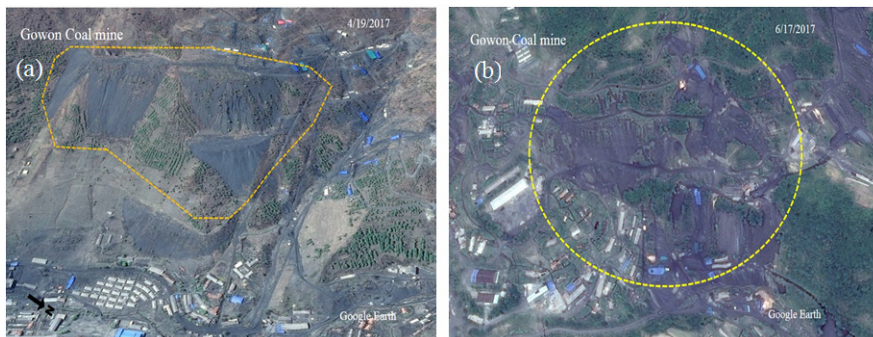


Fig. 7. Mine waste rock dump in April (a) and June (b) 2017 at the Gowon Coal mine.



Fig. 8. Tailing dam (a) and waste rock dumps (b), Upper side of tailing dam in 2015 (c) and in 2017 (d) at the Mannycon mine.

운산광산의 광물찌꺼기 적치장은 2006년 광물생산 재개 이후 설치되었으며, 2014년에는 적치장에서 붕괴가 관찰되었으나(Fig. 9a), 지속적인 붕괴를 막지 못하여 하부에 유실 방지용 댐을 신규로 건설하였다(Fig. 9b).

2.8직동탄광

2.8직동탄광은 평안남도 순천시에 위치하고 있으며, 순천지구청년탄광연합기업소 소속이다. 동 연합기업소에서는 2.8직동탄광 이외에 청성청년탄광, 령대탄광, 신창청년탄광 등을 개발하고 있다. 광종은 무연탄으로 매장량은 1억 8000만 톤이며, 1960년대부터 개발되기 시작하여 생산량은 2005년 기준으로 3만 톤/년이다(KORES, 2011). 직동탄광에서도 폐경석이 적치되고 있었으며, 그 양이 지속적으로 증가하고 있었다(Fig. 10a, 10b). 이로 인한 산림 훼손도 지속적으로 발생하고 있었다(Fig 10 A-B지역).

흑령탄광

흑령탄광은 평양시 강동군 흑령로동자구에 위치하고 있으며, 강동지구탄광연합기업소 소속이다. 동 연합기업소에는 강동청년탄광, 령남탄광, 고비탄광, 덕산탄광, 삼산탄광, 명신탄광, 청동탄광 등이 소속되어 있다. 흑령탄광은 1930년대부터 개발되었으며 매장량은 4,000만톤(1998년 추정)이다.

연간 생산량은 50만 톤으로 추정되고 있다(KORES, 2011).

흑령탄광은 심한 침식을 받은 카르스트 지형에 위치하며 노천채굴과 지하채굴을 병행하여 개발하고 있다(Fig. 11a). 광산지역 일부에서는 지하채굴과 지질 특성으로 인하여 지반침하와 사면붕괴가 확인되었다(Fig. 11b). 2015년 영상과 2016년 영상을 비교해보면 지반침하 현상이 심화되고 있음을 알 수 있다(Fig. 11c, 11d).

홀동광산

홀동광산은 황해북도 연산군 홀동로동자구에 위치하고 있다. 생산 광종은 금-은(-동, 창연, 철, 붕소)으로 1870년대부터 금광이 개발되었지만 1893년부터 본격적인 채굴이 시작되었다. 매장량은 광석기준으로 5,204,400톤(Au 3.8g/톤, Ag 7.4g/톤, Cu 0.29%)이고, 연간생산량(1991년 기준)은 금 0.85톤, 은 1.67톤, 동 893톤이다(KORES, 2011). 홀동광산에서는 폐석 적치도 일부 확인되었지만 특히 광물찌꺼기 적치장의 관리가 적절하지 않았다. 2015년에는 적치장 댐의 법면에서 침식을 관찰할 수 있었다(Fig. 12a). 또한 2017년 적치장의 모습을 보면 광물찌꺼기 재처리를 위하여 광미장을 훼손하고 있었다(Fig. 12b).

덕현광산



Fig. 9. Tailing dam in 2014 (a) and 2016 (b) at the Unsan mine

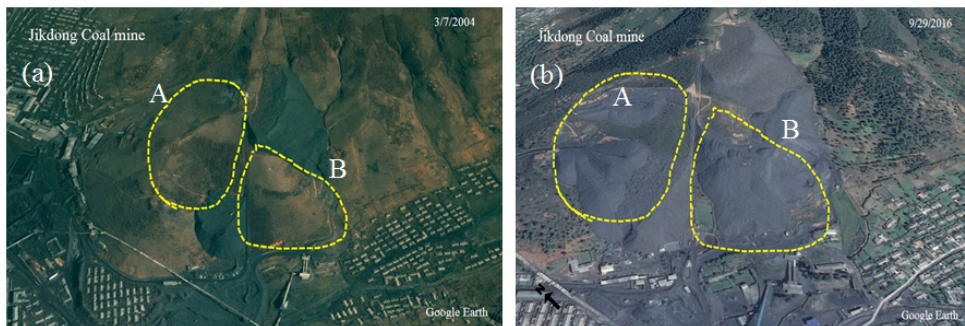


Fig. 10. Mine waste rock dump in 2004 (a) and 2016 (b) at the Gigdong Coal mine.

덕현광산은 평안북도 의주군 덕현로동자구에 위치해 있으며, 광종은 자철광이다. 1955년 탐사를 추진하여 1960년대부터 채굴을 시작하였다. 매장량은 1억 톤(Fe 36%)이며, 생산량은 철 정광 5만 톤/년(Fe 67%)이다(KORES, 2011).

덕현광산에는 제1광물찌꺼기적치장(Fig. 13a)과 제2광물찌꺼기적치장(Fig. 13c)이 있다. 제1적치장에서 2010년 및 2017년 영상을 비교하면, 댐체 법면 중앙 부분이 지속적으로 침식되고 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 13a, 13b). 또한 제2적치장에서도 댐체 법면 좌측 부분에서 지속적인 침식이 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 13c, 13d).

북한지역의 광해 발생 특징 및 원인 고찰

광종별 광해 발생 특징

위에 기술한 바와 같이, 본 연구에서는 구글어스 영상을 통하여 북한 광산지역에서 발생하고 있는 다양한 광해를 확인할 수 있었다. 충분히 많은 수의 북한 광산을 조사한 자료가 아니기 때문에 북한에서 발생하는 광해 현상을 일반화하기에는 무리가 있지만, 광종별로 확인된 광해 특성 및 유형을 Table 3에 정리하였다. 석탄광산 및 금속광산 모두에서 폐석 적치, 산림훼손이 발생하고 있음을 확인하였다(Figs. 2, 3, 6, 7, 9). 지반침하하는 지질 영향(특히, 카르스트 지형)과 광업활동 영향에 따라 발생하였다(Fig. 10). 또한

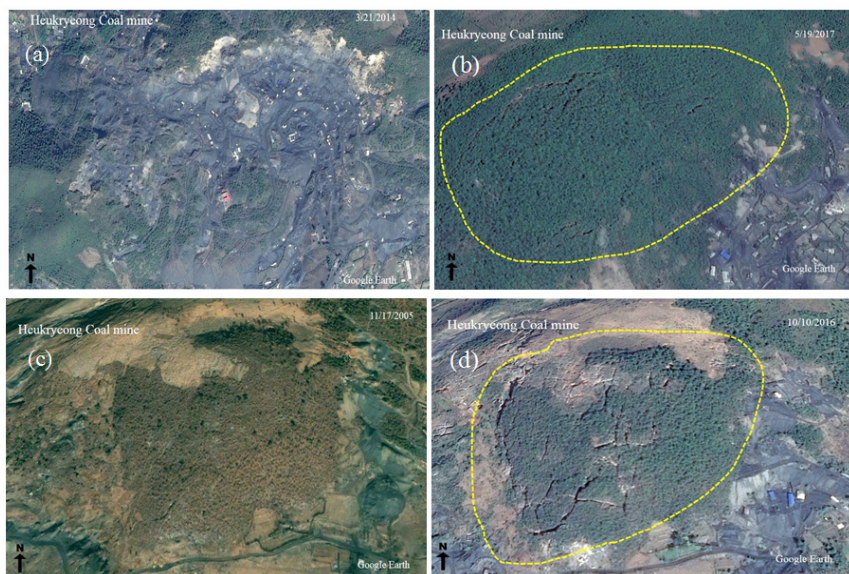


Fig. 11. Open-pit (a), slope subsidence (b), and land subsidence in 2005 (c) and 2016 (d) at the Heukryeong coal mine.

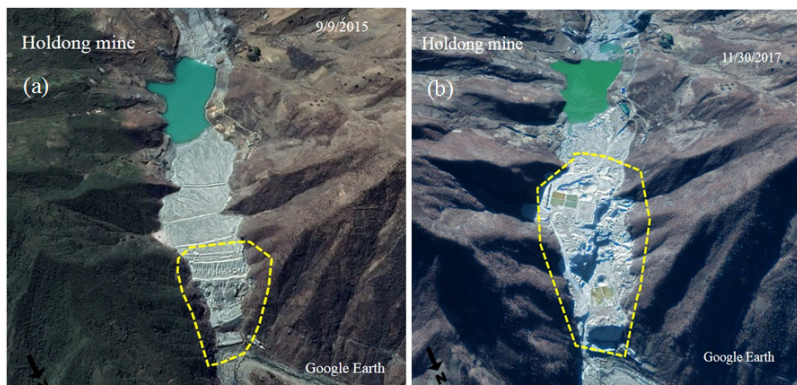
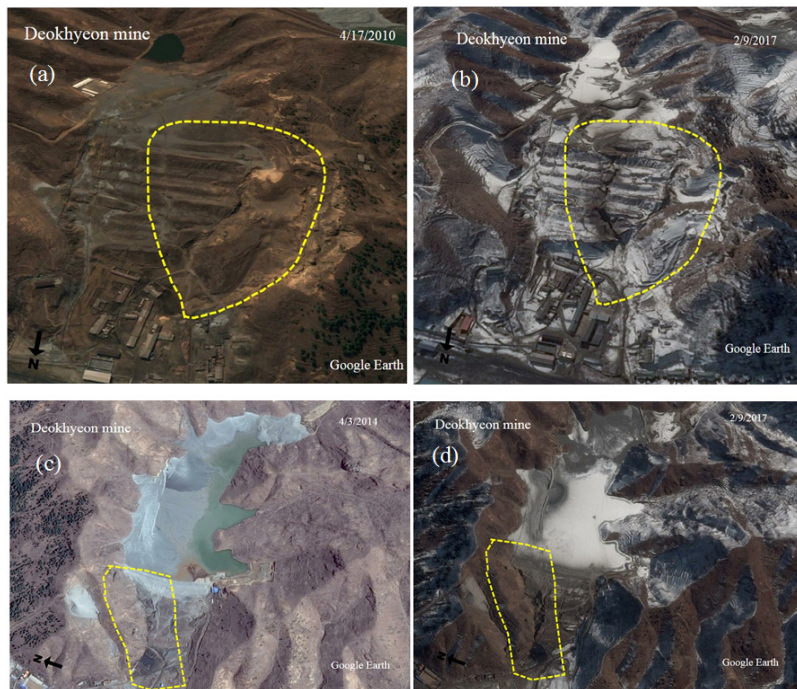


Fig. 12. Tailing dam in 2015 (a) and 2017 (b) at the Holdong mine.

Table 3. Summary of identified mining-related hazards in a few mine areas of North Korea

Ore	Name of mine	Type of mine hazard
Coal	Gowon, Jikdong, Heukryeong	Ground subsidence, waste rock, deforestation, etc.
Iron	Musan, Deokhyeon, Mandeok	Waste rock and tailing, tailing dam failure, mine drainage, ‘Yellow boy’ phenomenon, etc.
Gold-Silver	Unsan, Holdong	Waste rock and tailing, tailing dam failure, etc.
Copper	Hyesan, Cheongnyeon	Tailing dam failure, mine drainage, ‘Yellow boy’ phenomenon, etc.
Others (Pb-Zn, W, etc.)	Geomdeok, Mannyeon	Waste rock and tailing, tailing dam failure, etc.


Fig. 13. Tailing dam #1 in 2010 (a) and 2017 (b), and tailing dam #2 in 2014 (c) and 2017 (d) at the Deokhyeon iron mine.

여러 금속광산에서는 광물찌꺼기 적치장의 관리 부실로 인한 적치장 붕괴 혹은 가능성 증가, 광물찌꺼기 유실 등을 확인할 수 있었다(Figs. 2, 3, 4, 8, 11, 12). 북한 광산에서 갯내수 및 침출수의 발생을 확인할 수 있었다(Figs. 4, 5, 6).

광해 발생 원인

본 연구에서 확인된 광해의 관리가 적절히 이루어지지 않고 있는 원인을 살펴보면, ① 북한의 경우 광해의 원인이 되는 광물찌꺼기 등의 관리대상 물질이 상대적으로 많이 발생할 수 있으며, ② 광해관리에 필요한 자원의 투입이 부족하였다고 판단된다. 첫 번째 원인인 광해관리 대상물질의 과대화에 대하여 좀 더 살펴보면, 북한 지하자원법 제25조에는 ‘채굴조건이 좋거나 품위가 높고 두꺼운 광체만을

골라 캐는 행위를 할 수 없다’고 되어 있으며, 동법 제38조에는 ‘분광, 버력, 미광, 광재 안에 있는 유가 성분을 회수할 수 없는 경우 그것을 버리지 말고 저장해야 한다’라고 명시되어 있다(North Korea Information Portal, 2018). 따라서 지하자원법 제25조로 인하여 저품위 원광 채굴로 인해 다량의 폐석 및 광물찌꺼기가 대량으로 발생할 개연성이 많아 광해관리가 어려워지는 원인이라고 판단된다. 또한 지하자원법 제38조는 광물찌꺼기 관리 적치 물량이 증가하여 추후 적치장 훼손이 이루어질 수 있는 원인으로 작용한다고 판단된다. 즉 광물찌꺼기 적치장의 재개발을 위하여 완성도 높은 광해방지시설의 설치를 어렵게 할 수 있다고 판단된다. Cho and Lee(2017)도 저품위 지하자원(광물)의 개발을 광해 발생의 주요 원인으로 지적하였는데, 이는 상

기 고찰한 광해관리 대상물질의 증대와 밀접한 관련이 있다.

두 번째 원인으로는 광산 운영 및 광해관리에 필요한 직·간접적인 자원의 투입 부족이다. 특히, 북한의 경제상황이 최악이었던 1990년 말부터 2000년대에 걸쳐 광산 운영에 필요한 물자 공급이 부족하고 자연재해에 대한 대응이 좋지 않아 광산이 침수되는 등 광업에 많은 문제가 발생하였다(Cho and Lee, 2017). 앞서 살펴보았던 북한 주요 광산의 대부분이 1920년대 이전 또는 이후부터 개발이 시작되는 등 광산 개발이 오래되어 초기부터 광해방지 조치가 매우 미흡하였으며, 장비의 노후화, 식량배급 부족 등으로 인하여 광산 및 광해관리가 적절하게 운영되고 못하였다(Cho and Lee, 2017). 이밖에 환경문제에 대한 인식의 부족, 광산 내 환경전담 조직의 미활성화, 광해방지 규정의 미준수 등(Cho and Lee, 2017).으로 인하여 광해관리에 필요한 자원의 투입이 원활히 이루어지지 못하였다고 판단된다.

결 론

국내·외의 다양한 정세 변화에 따라 남북 경제협력의 양상이 신속하게 변화하고 있다. 특히 자원개발 분야의 남북 경제협업에 대한 관심이 지속적으로 높아지고 있는 현실이다. 그러나 북한의 광업에 대한 세부 정보는 외부 세계에 제대로 알려져 있지 않으며, 북한 광산에서 발생하는 광해 실태에 대한 정보는 단편적인 광산 피해 사례가 간헐적으로 보고되고 있을 뿐 거의 전무한 실정이다.

이에, 본 연구에서는 북한의 폐쇄성에 따른 자료 취득의 한계를 극복하기 위하여 쉽게 활용이 가능한 구글 어스 영상을 활용하여 광해 실태를 파악하였다. 본 연구조사를 통하여 북한의 대표적인 광산에서 발생하고 있는 지반침하, 광물찌꺼기 적치장 붕괴, 적화현상 및 광물찌꺼기 유출 등 다양한 광해를 확인하였으며, 이들 광해에 대한 적절한 방지시설의 설치가 진행되지 못하고 있음도 확인하였다.

북한의 환경문제 해결을 위한 외부의 지원과 협력이 적절히 이루어지지 않는다면, 향후 환경상태가 매우 심각하게 악화될 수 있다고 전망되며(Myong, 2017), 환경문제 중 특히 광해 문제는 법률적, 경제적 요인에 의하여 심각성이 더욱 높은 것으로 판단되었다. 나아가, 앞으로 기후변화로 인해 광해의 규모는 점점 커질 것으로 예상되는데, 예를 들어 이상강우로 인하여 관리상태가 부실한 광물찌꺼기 적치장에서는 대규모 붕괴사고가 발생할 수 있다.

따라서 광산지역에서 발생하는 광해문제는 남북 자원 분

야 경험사업 추진에 있어 중요하게 고려되어야 할 요소이다. 북한 주민의 환경 안전성 확보를 위한 지원 측면에서 뿐만 아니라, 북한지역 광산개발에 관심이 있는 국내외 기업들에게도 투자 시 고려해야 할 필수 요소이며 동시에 파견 직원들의 실질적인 안전 및 보건과도 관련된 문제이다. 이에, 북한의 광해 실태를 좀 더 명확히 파악하기 위한 지속적이고 체계적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

References

- Cho, C.K. and Lee, J.H., 2017. A study on analysis of current status and cause of mine hazards in North Korea. *J. Korean Soc. Miner. Energy Resour. Eng.*, 54(6), 619-627.
- DPRK and UNEP, 2012. *Democratic People's Republic of Korea Environment and Climate Change Outlook*, Pyongyang, North Korea. 136p.
- Ji, S.W. and Lim, G.J., 2009. Mine hazard and technology. *J. Korea Geosynthetic Society*, 8(3), 21-26.
- Jung, W.J., 2015. *Potential of Mineral Resources Development and Processing in North Korea*, Policy Issue Paper 14-13, Ulsan, Korea, 27p.
- Ki, J.H., 2016. Spatial photo analysis using google earth images to measure urban environmental pollution and deforestation in North Korea. *J. Environment and Policy*, 54(1), 133-146.
- Kim, C.W., Lee, U.H., Kim, S.J., and Bea, S.H., 2012. Analysis of lake using Google Earth in North Korea. *J. Association of Korean Photo-Geographers*, 22(2), 29-38.
- Kim, J.W., Park, D.G., Park J.H., Yun, S.J., Yun, Y.C., Jeon, H.T., Choi, U.G., and Heo, Y.N., 2008. *A Comparative Study on the Environmental Policies of South Korea and North Korea*, Vol. 2, Seoul National University Press, Seoul, Korea, 263p.
- KORES (Korea Resources Corporation), 2011. *Mineral Resources Development in North Korea*, KORES, Seoul, Korea, 647p.
- Myeong, S.J., 2017. *Study of cooperation for environmental infrastructure in North Korea*, KEI Policy Report 2017-9, Sejong, Korea, 124p.
- North Korea Information Portal, 2018.11.20, <http://nkinfo.unikorea.go.kr/nkp/search/search.do>.
- Sagong, H.S., Seo, K.H., and Han, S.H. 2007. Establishment of national land use DB in North Korea. *J. Korean Soc. GIS*, 15(3), 323-333.
- The Bank Korea, 2018.11.20, <http://www.bok.or.kr/portal/main/contents.do?menuNo=200091>.



윤 성 민

2004년 고려대학교 이과대학 지구환경과
학과 이학사
2006년 고려대학교 대학원 지구환경과학과
이학석사
2018년 고려대학교 그린스쿨 에너지환경
정책기술학과 박사 수료

현재 한국광해관리공단 광해기술원 기술협력기획팀 팀장
(E-mail; a45jung@mireco.or.kr)



장 항 석

2007년 한양대학교 공과대학 지구환경시
스템공학과 공학사
2011년 서울대학교 대학원 에너지자원공
학과 공학석사

현재 한국광해관리공단 광해기술원 글로벌사업팀 팀장
(E-mail; geozzang@mireco.or.kr)



윤 성 태

1985년 고려대학교 이과대학 지질학과
이학사
1987년 고려대학교 대학원 지질학과 이
학석사
1991년 고려대학교 대학원 지질학과 이
학박사
1992-1996년 세명대학교 자원공학과 조
교수

2008-2017년 캐나다 University of Calgary,
Adjunct Professor

현재 고려대학교 지구환경과학과 및 KU-KIST Green School 교수
(E-mail; styun@korea.ac.kr)



김 덕 민

2005년 고려대학교 이과대학 지구환경
과학과 이학사
2007년 고려대학교 대학원 지구환경과
학과 이학석사
2016년 고려대학교 대학원 지구환경과
학과 이학박사

현재 한국광해관리공단 강원지사 과장, 상지대학교 신에너지 ·
자원공학과 외래교수
(E-mail; dmkim@mireco.or.kr)