The Journal of Engineering Geology
pISSN : 1226-5268 eISSN : 2287-7169

Vol. 33, No. 4, December, 2023, pp. 737-753
https://doi.org/10.9720/kseg.2023.4.737

TECHNICAL NOTE

폐광지역발전을 위한 폐광산 활용방안 연구: 지하 데이터센터 및 공공체육시설로의 운용성 평가

김형걸[1] · 김강희[1] · 빈상현[1] · 우원식[1] · 차종문[2] · 현창욱[3*]

[1]동아대학교 환경 · 에너지공학부 미래에너지공학전공 학부과정
[2]동아대학교 환경 · 에너지공학부 미래에너지공학전공 교수
[3]동아대학교 환경 · 에너지공학부 미래에너지공학전공 조교수

Utilizing Abandoned Mines in Regional Development: Feasibility of Underground Data Centers and Public Sports Facilities

Hyeong-Geol Kim[1] · Ganghui Kim[1] · Sanghyun Bin[1] · Won-Sik Woo[1] · Jongmun Cha[2] · Chang-Uk Hyun[3*]

[1]Undergraduate Student, Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University
[2]Professor, Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University
[3]Assistant Professor, Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University

Abstract

Abandoned mines represent unused space resulting from resource use and changes in industrial environments. Efforts are underway to repurpose such underground spaces, leveraging their unique attributes of temperature stability, shading, and security. This study aimed to assess the feasibility of operating high-demand data centers and public sports facilities as potential recycling options for abandoned mine spaces. The status of data centers located in abandoned mines abroad was examined, including their operational technology capitalizing on the advantages of underground spaces. Considering the varying sizes of underground spaces in different types of abandoned mine in South Korea, the suitability of installing facilities for 12 different sports was evaluated for potential contributions to the health and welfare of local residents. The utilization of abandoned mine spaces as data centers and public sports facilities is expected to not only recycle industrial heritage but also to allow new development opportunities for local communities.

Keywords: abandoned mine, data center, public sports facilities, regional development

초 록

폐광산은 자원의 고갈 및 산업환경의 변화로 인해 폐쇄된 유휴공간이다. 이러한 폐광산의 지하공간은 항온성, 차광성, 보안성과 같은 고유 특성을 이용하는 다양한 용도로의 재활용이 시도되고 있다. 본 연구에서는 폐광산 지하공동의 재활용 방안 가운데 수요가 증대되고 있으며 지역발전에 도움이 되는 데이터센터 및 폐광지역 주민복지를 증진시키는 공공체육시설에 대한 운용성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 해외 폐광산 내 설치된 데이터센터의 현황 및 지하공간의 이점을 활용한 데이터센터 운용기술을 검토하였다. 또한 우리나라의 폐광산 종류별 지하공간 규모를 고려하여 공공체육시설 중 지역 주민들의 건강과 복지에 이바지할 수 있는 생활체육시설로 선택된 12개 종목에 대해 경기장 설치 적용성을 평가하였다.

OPEN ACCESS

***Corresponding author:** Chang-Uk Hyun
E-mail: cuhyun@donga.ac.kr

Received: 14 November, 2023
Revised: 13 December, 2023
Accepted: 20 December, 2023

Ⓒ 2023 The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이와 같은 폐광산 지하공간의 데이터센터 및 공공체육시설로의 활용은 단순히 산업유산의 재활용이 아니라 지역사회에 새로운 발전 가능성과 기회를 제공할 것으로 기대된다.

주요어: 폐광산, 데이터센터, 공공체육시설, 지역발전

서 론

국내 광산은 과거 일제강점기 및 산업화가 진행되는 과정에서 다양한 방식으로, 또한 많은 경우에 체계를 갖추지 못한 채 개발되었다. 1980년대 후반 자원고갈 및 수익가치 하락으로 인한 채광 활동의 감소에 따라 다수의 광산들이 휴광 및 폐광을 하게 되었고, 이에 대응하여 폐광산의 여러 용도로의 재활용에 대한 검토와 연구를 진행해왔다(Kang, 2007). 이러한 재활용 방안에 대한 적용성 평가가 필요한 국내 폐광산들은 2022년 기준 약 5천1백여 개가 전국에 산재하는 것으로 집계되었다(Table 1).

Table 1. Survey of abandoned mines by resource type (Open Government Data, 2023a)

Year	Resource type	Number of abandoned mines
2022	Metal	2,224
	Nonmetal	2,457
	Coal	438
	Total	5,119

우리나라에는 많은 수의 폐광산이 존재하고 있지만 이러한 폐광산의 지하공간을 적극적으로 사용하지는 못하고 있다. 과거에는 도시 및 인근 지역에 개발 가용 부지들이 풍부하였기 때문에 폐광산 지역을 방치하거나, 조림 등을 통한 복구 후 자연환경으로 복원시키는 방법이 적용되어 왔다. 또한 지하 채광 방식의 광산 개발은 폐광 후 지표 함몰, 지반 균열, 지하수 유실 등 광해 잠재 요소인 지하 공동을 유발하게 되므로 광해 관리 활동이 필수적이다(Yoo et al., 2011). 기존의 광해 관리는 광산 활동에 의한 피해를 복구하고 방지하는 것이었다면 현재의 광해 관리는 복원 부지의 활용을 통해 지역사회의 문화 및 경제적 발전을 위한 활동으로 인식되고 있다(Ji et al., 2012).

갱내 채굴 광산에서는 채광 작업이 진행된 이후에 다양한 규모의 지하공간이 남게 된다. 지하공간은 지상과 다르게 항온성, 차광성, 보안성이 뛰어나 이러한 환경 특성이 요구되는 시설을 설치할 경우 에너지 절감 등 운영 시 장점이 존재한다(Dong et al., 2021). 또한 건축물 등 각종 시설들로 인해 지상의 가용 토지가 부족한 상황에서 지하공간 활용에 대한 관심이 높아지고 있다(He et al., 2012). 채광 활동이 이루어진 지하공간은 연중 일정한 온도(지하 25 m 기준 연평균 약 14°C)가 유지된다(Chung et al., 1998). 지하공간에 부존하는 지하수의 온도는 지역과 광산의 심도에 따라 차이가 있지만 삼척탄좌 정암광업소의 사례(15~23°C)와 같이 연중 균일한 것으로 보고된 바 있다(Suh et al., 2005). 이러한 폐광산의 항온성에 대한 잠재력은 지하공간에서의 냉난방에 충분히 활용할 가치가 있다. 해외에서는 이러한 광산의 항온성, 차광성, 보안성의 특성들을 이용하여 지역주민이 참여하는 소규모의 지역재생사업을 다양하게 추진하고 있다(Cho et al., 2014). 우리나라도 많은 수의 폐광산이 존재하는 상황에서 지역 활성화를 위해 보다 다양한 폐광산 활용법에 대한 검토가 필요하다고 할 수 있다.

과거 광산 지역은 광업이 해당 지역의 중심 산업기반을 이루었지만 광업의 쇠퇴에 따라 지역 주민들이 일자리가 감소하고, 이에 따른 인구이동 및 고령화로 인해 지역 침체가 가속화되고 있다. 예를 들어, 태백 지역의 경우 탄광 산업이 지역의

주요한 경제 원동력이었는데 탄광 산업의 쇠퇴가 급격한 경기 침체와 인구 유출의 직접적인 원인이 되었음이 보고된 바 있다(Chung, 2004).

본 연구에서는 폐광산 지하공간의 여러 활용방안 가운데 향후 4차산업의 확대로 수요가 더욱 커질 것으로 기대되는 데이터센터 및 폐광산이 위치하는 지역의 주민복지 향상을 위한 공공체육시설로의 활용성에 대해 해외 사례를 정리하고 국내 폐광산에 대한 적용성을 평가하고자 한다.

폐광산의 지역발전을 위한 활용방안

데이터센터

스마트폰의 보급과 4차산업으로 인해 생산 및 구축되는 데이터 용량은 실시간으로 폭발적으로 늘어나고 있다. 데이터센터는 산업 디지털화의 가장 핵심적인 역할을 하고 있으며, 국내에서도 데이터를 안정적으로 보관할 수 있는 데이터센터 수가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다(Fig. 1).

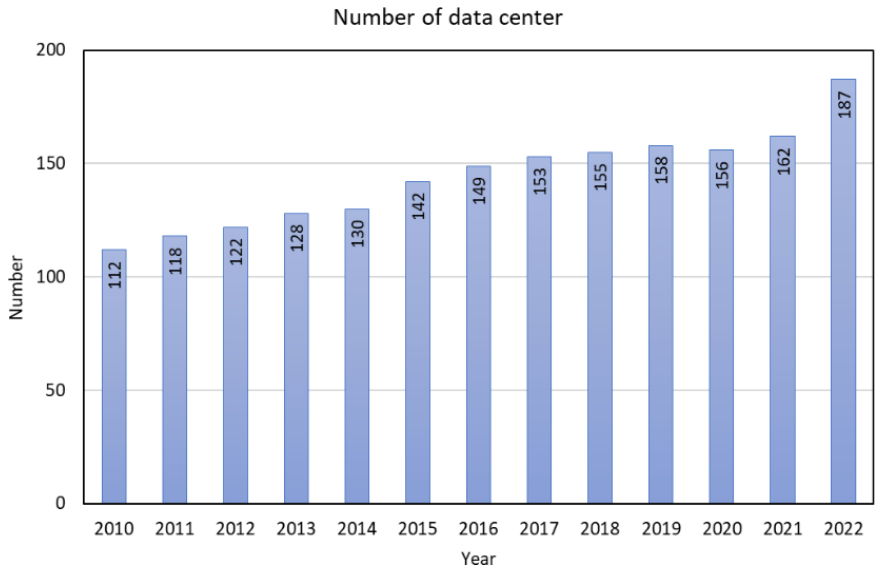

Fig. 1. Increasing trend in the number of data centers in South Korea (Koscom, 2021).

이러한 데이터센터는 에너지 사용량이 많은 시설로 전 세계 전력 사용량의 약 1.3%를 차지하고 이중 30~50%는 냉각 시스템에 의해 소비된다(Cho, 2021). 데이터센터의 핵심 성능으로 온도 유지를 위한 고효율 냉방시스템이 요구된다. 과학기술정보통신부의 '2050 탄소중립실현 10대 핵심기술 기술혁신 추진전략'(MSIT, 2021)에서는 2030년까지 데이터센터 전력 소모량을 20% 절감하겠다고 밝힌 바 있다. 따라서 현시점에서 에너지 효율이 높은 친환경 냉각 기술을 적용한 데이터센터가 필요하고 지하공간의 항온성이 이를 위해 활용될 수 있다.

공공체육시설

문화체육관광부의 통계자료에 따르면 우리나라의 인구 고령화 속도는 빨라지고 있고(Fig. 2) 이러한 추세로부터 의료비의 지속적인 증가가 예상된다(Fig. 3). 따라서 고령세대를 위한 체육시설의 중요성에 대한 관심도 및 수요가 커지고 있

지만, 이러한 체육시설의 설치와 운영은 아직 미흡한 상황으로(Kim and Kim, 2017) 고령세대의 체력 증진과 건강 유지를 위한 대응책 마련이 필요하다. 국내에서는 공공체육시설 중 생활체육시설의 경우 체육시설의 설치 · 이용에 관한 법률 시행령(Korean Law Information Center, 2023)에 따라 체육관, 수영장, 볼링장, 체력단련장, 테니스장, 에어로빅장, 탁구장, 골프연습장, 게이트볼장, 배드민턴장, 운동장, 롤러스케이트장 등이 포함되어 있으며 지역 주민의 선호도와 입지 여건 등을 고려하여 설치하도록 되어 있다.

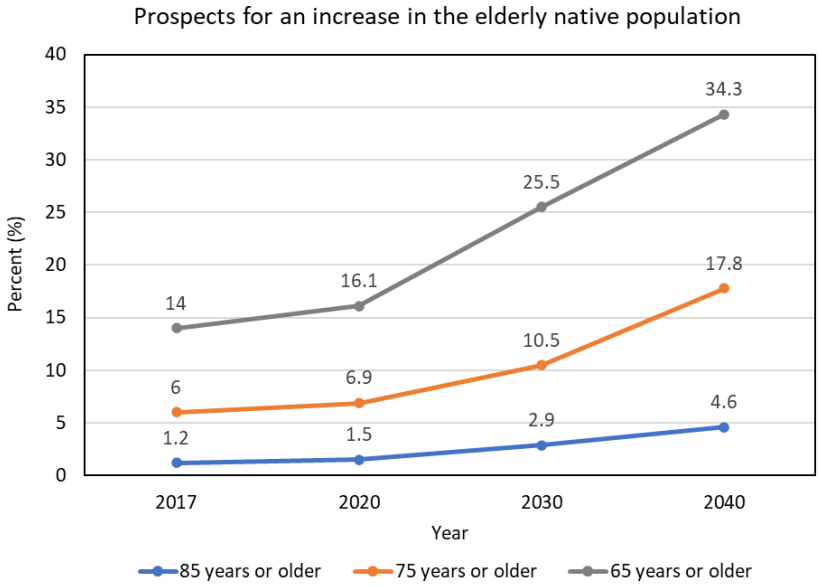

Fig. 2. Increasing trend in the elderly population of South Korea (Statistics Korea, 2020).

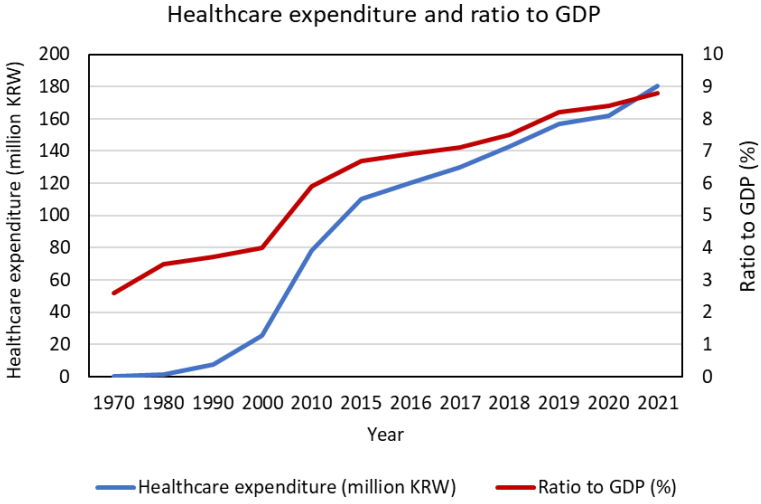

Fig. 3. Healthcare expenditure and ratio to gross domestic product (GDP) in South Korea (Statistics Korea, 2023).

폐광산 갱내 공간은 유휴 지하공간으로 정의될 수 있다. 최근 해외에서는 이러한 유휴 지하공간을 체육시설을 포함한 다양한 용도의 지속가능한 문화 · 휴식 공간으로의 전환에 대한 연구들이 수행되었다(Ha et al., 2013). 공공체육시설의 경우 지역주민의 복지 향상 목적으로 경기대회 개최나 선수훈련에 사용되는 전문체육시설보다는 지역주민이 거주지와 가

까운 곳에서 쉽게 이용이 가능한 생활체육시설의 설치가 목적에 부합된다.

폐광산 지하공간의 경우 내부 온도가 지상 평균기온보다 일정하게 유지되며(Chung et al., 1998), 스포츠과학자들이 인간이 가장 운동하기 좋은 기온이라고 언급하는 15~20°C의 범위(Choi and Kim, 2005)에 가깝다. 또한 지하공간의 차광성 특성은 체육활동 중 눈부심 방지에 도움을 준다.

폐광산 내 지하 데이터센터 해외 운용사례 및 운용기술의 국내 활용성 검토

데이터센터는 일정한 온도와 습도의 유지가 중요하며 보안이 용이해야 한다. 데이터센터에서의 에너지 소비는 냉방에 사용되는 에너지가 50%까지 차지한다(Jang et al., 2023). 또한 지상에서는 모든 보안과 안전사항을 관리하기에 한계가 있기 때문에 상대적으로 접근성이 제한되는 지하공간의 활용에 대한 수요가 늘어나고 있으며, 비용 측면에서도 지상에 설치할 경우 보안과 안전을 유지하기 위한 별도의 시설과 비용이 필요하여 지하공간에 설치할 때보다 건설 비용이 추가 발생한다(Lee et al., 2019). 폐광산 지하공간의 특성은 데이터센터의 보안 강화에 필요한 접근 제한 조건을 충족시키며, 또한 항온성으로부터 효율적인 냉방이 가능하다. 이러한 폐광산의 잠재력을 활용한 데이터센터의 해외 설치 및 운용 사례는 다음과 같다.

해외 지하 데이터센터 설치 사례

노르웨이 Lefdal 광산 데이터센터

노르웨이의 피요르드 해안 아래의 Lefdal 광산에서는 지하공간을 활용하여 데이터센터를 설치 및 운용하고 있다(Fig. 4). 데이터센터 운용에 필요한 총 전력 생산의 98.5%를 수력발전으로 얻는다. 광산이 해수면 바로 아래에 위치하며, 이러한 지리적 특성을 이용하여 바닷물을 폐쇄형 담수 회로용 열교환기를 통해 냉각원으로 사용하고 있다(Lefdal Mine Datacenter, 2023).

Fig. 4. Data center facility located in the underground space of Lefdal Mine in Norway (Lefdal Mine Datacenter, 2023).

미국 Bluebird 지하 데이터센터

미국 미주리(Missouri) 주 스프링필드(Springfield)에 위치한 Bluebird 지하 데이터센터(Fig. 5)는 지하 85 ft (25.9 m) 심도에 위치하며, 석회암으로 둘러싸여 있다. 지하의 이점인 항온성으로 연중 일정한 64~68°F (18~20°C)의 온도와 안정

된 습도를 유지하며, 페루프 수냉식 시스템을 활용하여 지역의 수자원 인프라에 폐냉각수, 폐열 배출 등의 부정적인 영향을 최소화하며 가동된다(Bluebird Network, 2023).

Fig. 5. Bluebird underground data center facility located within an abandoned limestone mine in the USA (Bluebird Network, 2023).

미국 LightEdge 지하 데이터센터

미국 캔자스(Kansas) 주 레넥사(Lenexa)에 위치한 LightEdge사의 데이터센터(Fig. 6)는 지하 125 ft (38.1 m)의 석회석 폐광산에 건설되었다. 연중 68°F (20°C)의 일정한 온도 유지를 통해 서버를 저온으로 냉각시키며, 지하공간의 항온성으로부터 냉각시설에 대한 전력 의존도를 줄였다(LightEdge Solutions, 2023).

Fig. 6. LightEdge underground data center facility located within a limestone abandoned mine in the USA (LightEdge Solutions, 2023).

지하 데이터센터 운용을 위한 기술

해외 지하 데이터센터 사례의 검토로부터 국내 폐광산 지하공간에 접목 가능한 데이터센터 운용을 위한 기술은 다음과 같이 요약할 수 있다.

외기냉방

외기냉방(outdoor air cooling, ODAC)이란 외기의 온도가 실내공기의 온도보다 낮은 경우 냉방기를 가동하지 않고 공기조화기 댐퍼의 적절한 조작과 송풍팬으로 외기를 도입하여 실내를 냉방하는 것을 말한다(Kim et al., 2010). 지하 광산의 경우 데이터센터 서버실의 권장 온도(18~23°C)보다 상대적으로 낮은 연중 온도가 유지되기 때문에 데이터센터 내 냉각에 효과적인 기술로 활용 가능하다(Chang, 2018).

열교환기를 통한 수냉방

별도의 외부 동력 없이 잠열을 이용하여 열을 전달하는 히트파이프를 통해 데이터센터에서 발생하는 열을 지하수의 온도를 통해 냉각하는 방법이며(Lee and Lee, 1995), 지하수 온도는 지역과 광산의 심도에 따라 다르지만 연중 균일한 15~23°C로 보고된 사례(Suh et al., 2005)를 고려하면 효과적으로 적용될 수 있다.

소수력발전

광산에서 배출되는 지하수량이 많은 환경인 경우 이를 이용한 소수력발전 또한 가능하다. 그 사례로 미국 Summitville 광산에서의 소수력발전 시스템(micro hydroelectric plant)이 있다(US EPA, 2009). 이러한 소수력 발전을 이용하면 데이터센터 운용을 위한 친환경 전력의 생산과 공급이 가능하다.

지열발전

지열발전은 지구 내부의 마그마 열에 의해 보유하고 있는 지열에너지를 활용하여 에너지를 생산하는 방법이다. 지열발전이 가능한 환경을 갖춘 광산에서는 지하 데이터센터의 전력 공급과 연계하여 사용할 수 있다(Melaku, 2005). 국외의 광산 지열발전 이용 사례로는 파푸아뉴기니 Lihir 광산이 있다(Luo et al., 2010).

폐광산 내 체육시설 해외 설치사례 및 국내 폐광산 종류와 체육시설별 활용성 검토

폐광산 지하공간 내 공공체육시설은 지역의 복지 정책의 일환으로 활용할 수 있다. 국민체육진흥법 제10조 2(노인체육의 진흥)에 따르면 국가와 지자체는 노인 체육 진흥에 필요한 시책과 노인의 건강 유지와 증진을 위한 체육활동 프로그램을 운영 또는 지원하도록 하고 있다. 최근 기후변화로 인해 극단적인 기후 현상이 증가하는 상황에서 지하공간에 공공체육시설을 설치 및 운영하게 되면 차광성과 항온성으로부터 냉난방비용 절감과 계절 변화에 따른 외부 온도변화의 영향도를 줄이며 원활한 체육활동을 할 수 있다.

해외 체육시설 설치 사례

해외에서 지하공간과 경기장의 규모를 고려하여 다양한 체육시설을 설치 및 운영한 사례가 보고되고 있다. 루마니아 Ocnele mari 소금 광산에서의 풋살 경기장, 미국 Missouri 주 Carthage 석회석 광산에서의 테니스 경기장, 영국 Cumbria 주 Honister 슬레이트 광산에서의 크리켓 경기장, 영국 Cumbria 주 Honister 슬레이트 광산에서의 암벽 등반장, 영국 웨일스 Llechwedd 슬레이트 광산의 지하 골프 코스, 호주 South Australia 주 Coober Pedy 오팔 광산에서의 당구 경기장 등과 같은 폐광산 지하공간의 다양한 체육시설로의 활용 사례가 있다(Fig. 7).

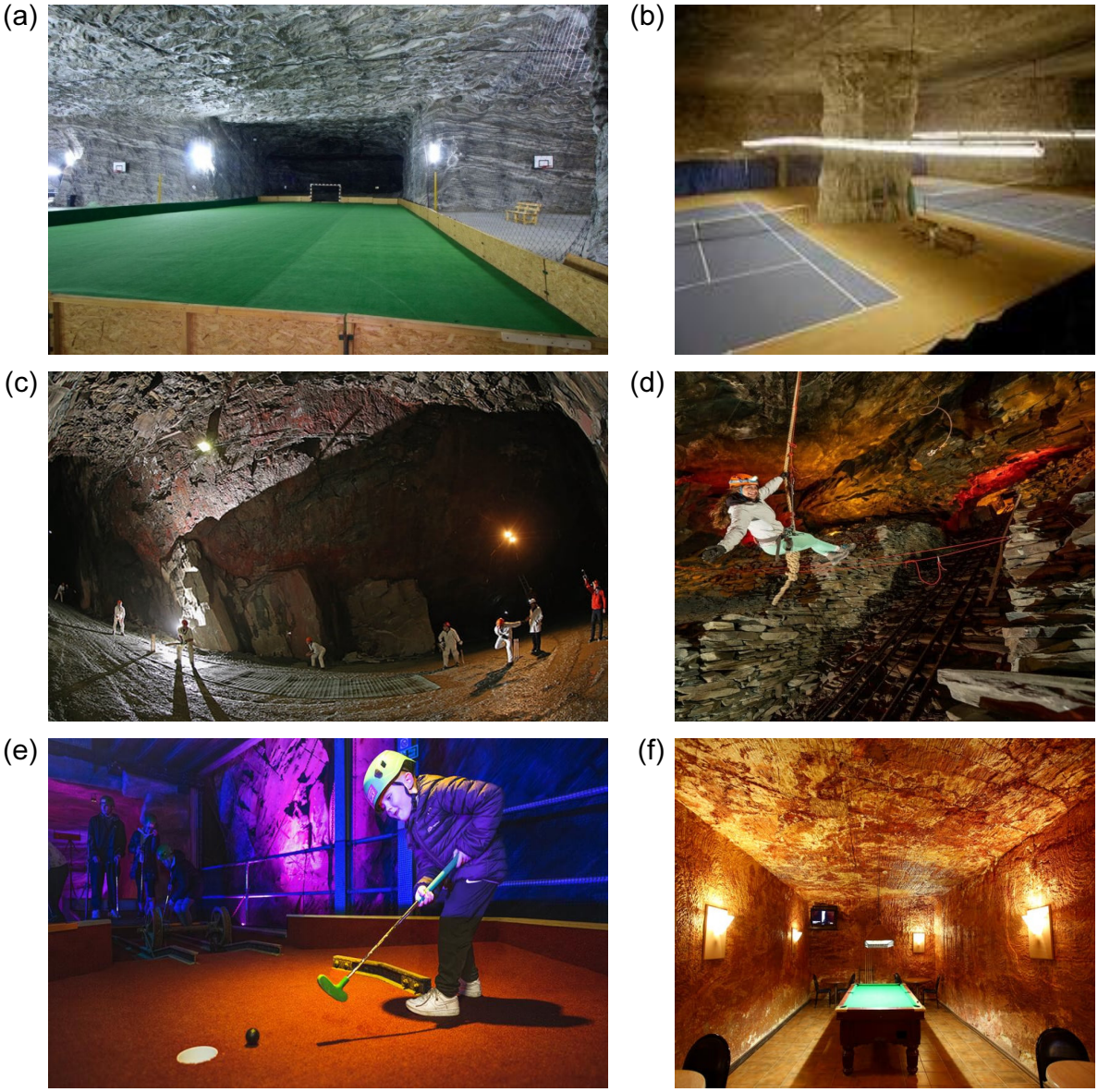

Fig. 7. Sports facilities in underground mine spaces overseas: (a) Futsal field in the Ocnele Mari Salt Mine in Romania (Tourist Vâlcea, 2023). (b) Tennis court in the Carthage Limestone Mine in Missouri, USA (Grand Slam Sports Equipment, 2014). (c) Cricket being played in Honister Slate Mine, Cumbria, England (The Guardian, 2013). (d) Underground climbing in Honister Slate Mine, Cumbria, England (Honister Slate Mine, 2023). (e) Underground golf in the Llechwedd Slate Quarry, Wales (Zip World, 2023). (f) Underground billiard game room in Desert Cave Hotel, Coober Pedy, South Australia (Business Insider, 2020).

우리나라 폐광산 종류별 공공체육시설 활용성 검토

폐탄광

국내 석탄광산 갱도 단면(폭 × 높이)의 크기는 1.8 × 1.8 m~2.1 × 2.1 m로 협소하며(Kim et al., 2009), 주변 암석은 사암 또는 혈암 등으로 암질이 견고하지 못하여 대부분의 폐갱도는 자연 붕괴의 위험도가 매우 높다(Chung et al., 1998). 대규모의 석탄광산의 경우 갱도 크기가 3.0 × 2.5 m~3.8 × 2.8 m로 상대적으로는 넓은 편이지만(Kim et al., 2009), 공공체육시설로 활용되기 위해서는 확장 및 보강공사가 필요할 것으로 예상된다.

폐금속 및 폐비금속광산

금속광산의 갱도 단면 규모는 일반적으로 2.0 × 2.0 m 내외로 폐탄광에 비교하여 유사하고, 일부 대규모 갱도의 경우 5.0 × 5.0 m 정도까지 개발되고 있다(Kim et al., 2009). 폐금속광산 주변 암반에는 폐탄광에 비해 암질이 비교적 견고한 화강편마암 또는 화강암이 빈번히 분포한다(Chung et al., 1998). 대형 장비를 이용하여 개발하는 비금속광산의 갱도 단면 규모는 5.0 × 5.0 m 이상이며, 강원도 정선에 위치한 석회석 광산인 정선 광산의 경우 채광 공동 규격은 15.0 × 27.0 m로(Kim et al., 2009), 이처럼 다양한 종목의 공공체육시설이 들어서기에 충분한 크기를 가지고 있는 경우도 존재한다.

공공체육시설별 폐광산 지하공간 활용 방안

공공체육시설 선정 기준은 폐광산의 지하공간 규모 특성을 적극적으로 활용할 수 있으며, 고령세대뿐만 아니라 청년세대도 참여 가능한 관광체육시설로의 활용성도 고려하여 종목을 선정하였다. 이러한 체육시설은 운영을 위한 일자리 창출 및 지역경제 활성화에도 기여 가능하다. 아래에 제시한 폐광산 종류별 총 12종의 체육시설 적합성은 폐탄광의 경우 넓은 크기의 폐갱도인 3.8 × 2.8 m 규격을 기준으로 하였다. 폐금속광산도 폐탄광과 유사한 규모로 가정하였다. 폐비금속광산은 강원도 정선 광산의 채광 공동의 크기인 15.0 × 27.0 m를 기준으로 고려하였다.

배드민턴 경기장

배드민턴 경기장의 규격은 일정한 크기로 지정되어 있다. 대한배드민턴협회에서 제시하는 배드민턴 경기장의 면적 기준은 다음과 같다(BKA, 2019).

(1) 단식경기장: 길이 13.40 m (44 ft), 폭 5.18 m (17 ft)

(2) 복식경기징: 길이 13.40 m (44 ft), 폭 6.10 m (20 ft)

적정 천장 높이는 12 m 이상이며 최소 9 m 이상은 되어야 한다. 이러한 필요 공간 규모를 고려하였을 때 폐탄광은 배드민턴 경기장으로 활용이 불가능하며, 폐비금속광산 내 일부 대규모 공간만이 경기장 설치가 가능할 것으로 판단된다.

볼링 경기장

대한볼링협회에서 제시한 볼링 경기장의 표준 규격은 다음과 같다(KBA, 1992).

(1) 길이 18.29 m (60 ft), 폭 1.07 m (3.5 ft)

대부분의 볼링장은 소음의 문제로 인해 지하에 설치되어 있는 경우가 많다. 지하공간의 특성인 방진성, 방음성을 활용할 수 있는 모든 종류의 폐광산 지하공간에 설치가 가능할 것으로 보인다.

사격 경기장

레저용 사격 경기장의 규격은 일정하게 지정되어 있지 않지만, 각 사격 지점에서 안전한 사격 거리를 확보하기 위해 일정한 길이와 폭을 갖추고 있어야 한다. 도심이나 주거지역 근처에 위치한 사격장은 소음으로 인한 제한을 받을 수 있는데 지하공간의 특성인 격리성, 방진성, 방음성을 고려한다면 모든 종류의 폐광산 지하공간의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

스쿼시 경기장

스쿼시 경기장은 정해진 규격에 따라 설치되어야 하며, 국제스쿼시연맹에서는 표준 스쿼시 경기장의 규격을 다음과 같이 제시하고 있다(WSF, 2013).

(1) 길이 9.75 m (32 ft), 폭 6.40 m (21 ft), 높이 5.64 m (18 ft)

이러한 규격을 고려하였을 때 폭과 높이가 상대적으로 좁은 폐탄광 및 폐금속광산 보다는 폐비금속광산 내에 설치가 적합하다.

탁구 경기장

국제탁구연맹에서 제시한 탁구장의 표준 규격은 다음과 같다(ITTF, 2023).

(1) 길이 2.74 m (9 ft), 폭 1.525 m (5 ft)

레저 시설이나 취미용 탁구 클럽에서는 다소 다른 크기의 탁구대를 사용하기도 하지만 일반적으로 작은 규격이기 때문에 장소의 제약을 크게 받지 않는다. 그러므로 모든 종류의 폐광산 지하공간의 활용이 가능하다.

펜싱 경기장

국제펜싱연맹에서 제시한 펜싱 경기장의 표준 규격은 다음과 같다(FIE, 2023).

(1) 길이 7 m (24 ft), 폭 2 m (6.5 ft)

취미용 펜싱 클럽이나 레저 시설에서는 다소 다른 크기와 구성으로 운영이 가능하고, 좁은 폭의 공간 특성으로부터 장소의 제약을 크게 받지 않는다. 그러므로 모든 종류의 폐광산 지하공간의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

컬링 경기장

국제컬링연맹에서 제시한 컬링 경기장의 표준 규격은 다음과 같다(WCF, 2023).

(1) 길이 45. 7 m (150 ft), 폭 5.0 m (16.4 ft)

컬링은 얼음 위에서 진행되기 때문에 연중 일정한 낮은 온도의 유지가 필요하고, 폐갱도 및 지하공간의 항온성의 이점을 사용하기에 적합하다. 하지만 5.0 m의 폭은 일반적인 폐탄광 및 폐금속광산의 갱도 크기를 초과하기 때문에 설치의 제한 요소가 되며, 폐비금속광산 내 대형 지하공간이 활용 고려 대상이 된다.

테니스 경기장

국제테니스연맹에서 제시한 테니스 경기장의 표준 규격은 다음과 같다(ITF, 2023).

(1) 단식경기: 길이 23.77 m (78 ft), 폭 8.23 m (27 ft)

(2) 복식경기: 길이 23.77 m (78 ft), 폭 10.97 m (36 ft)

테니스는 야외에서 경기 시 바람이나 태양광 등 환경의 영향을 많이 받는 스포츠이기 때문에 지하공간의 격리성, 차광성의 특성을 활용하며 표준 규격의 경기장 설치가 가능한 폐비금속광산의 대규모 지하공간이 활용 가능할 것으로 판단된다.

당구 경기장

대한당구연맹에서 제시한 표준 규격은 다음과 같다(KBF, 2015).

(1) 캐롬 당구대: 가로 3.1 m, 세로 1.7 m

(2) 포켓 당구대: 가로 2.8 m, 세로 1.6 m

(3) 스누커&잉글리쉬 빌리아드 당구대: 가로 3.8 m, 세로 2.1 m

앞서 제시한 탁구 경기장과 같이 당구 경기장은 작은 규격의 공간을 필요로 하기 때문에 장소에 큰 제약을 받지 않을 것으로 판단된다. 특히 캐롬 및 포켓 당구 경기장은 모든 종류의 폐광산 지하공간에서 활용이 가능하다.

암벽등반 경기장

자연암반을 사용하는 암벽등반 공간은 표준 규격이 지정되어 있지 않으며, 암반 환경에 따라 다소 자유롭게 운영될 수 있다. 따라서 폐광산 지하공간의 자연암반을 사용한다면 별도의 암반 모사 인공구조물의 추가 설치 없이 운영이 가능하다. 단 자연 암반을 사용하기 때문에 클라이밍 로프, 쿠션 등 안전시설을 충분히 제공해야 할 것이다.

풋살 경기장

대한풋살협회에서 제시한 국제 표준 규격은 다음과 같다(KFA, 2022).

(1) 길이 36~40 m, 폭 18~20 m

풋살 경기의 경우 인원수에 따라 경기장의 규격이 달라질 수 있지만, 소수의 인원으로 진행되는 경기를 가정할 경우에도 일반적인 폐탄광, 폐금속 및 폐비금속광산의 갱도 크기를 초과하기 때문에 예외적인 대규모 지하공간이 아닌 이상 설치가 제한될 것으로 판단된다.

농구 경기장

국제농구연맹에서 제시한 표준 규격은 다음과 같다(FIBA, 2023).

(1) 정규 경기장: 길이 28 m, 폭 15 m

(2) 3 × 3 경기장: 길이 15 m, 폭 11 m

정규 경기를 진행하는 경기장의 경우에는 우리나라 폐광산 지하공간이 적합하지 않아 보이나 3 × 3 경기는 일반 경기장 규격의 약 40%에 해당하는 면적을 필요로 하기 때문에 폐비금속광산 내 대형 공간에는 설치 가능한 것으로 판단된다.

앞서 살펴본 총 12종의 공공체육시설 가운데 규격이 정해지지 않은 사격 경기장과 암벽등반 경기장, 긴 연장 길이의 컬링 경기장, 대규모 지하공간에만 설치가 가능한 풋살 경기장을 제외한 총 8종의 공공체육시설에 대해 석회석 광산인 정선광산의 채광 공동 단면(폭 15 m, 높이 27 m)과 연장 길이 24 m를 가정한 공간 내에 각각의 체육시설 규격을 고려하여 배치 시 예상 평면도를 제시하였다(Fig. 8). 이처럼 대형 채광 공동에서는 각종 표준 규격의 공공체육시설 및 이동 통로나 휴게공간 등 추가 여유 공간을 충분히 확보 가능한 것으로 판단된다.

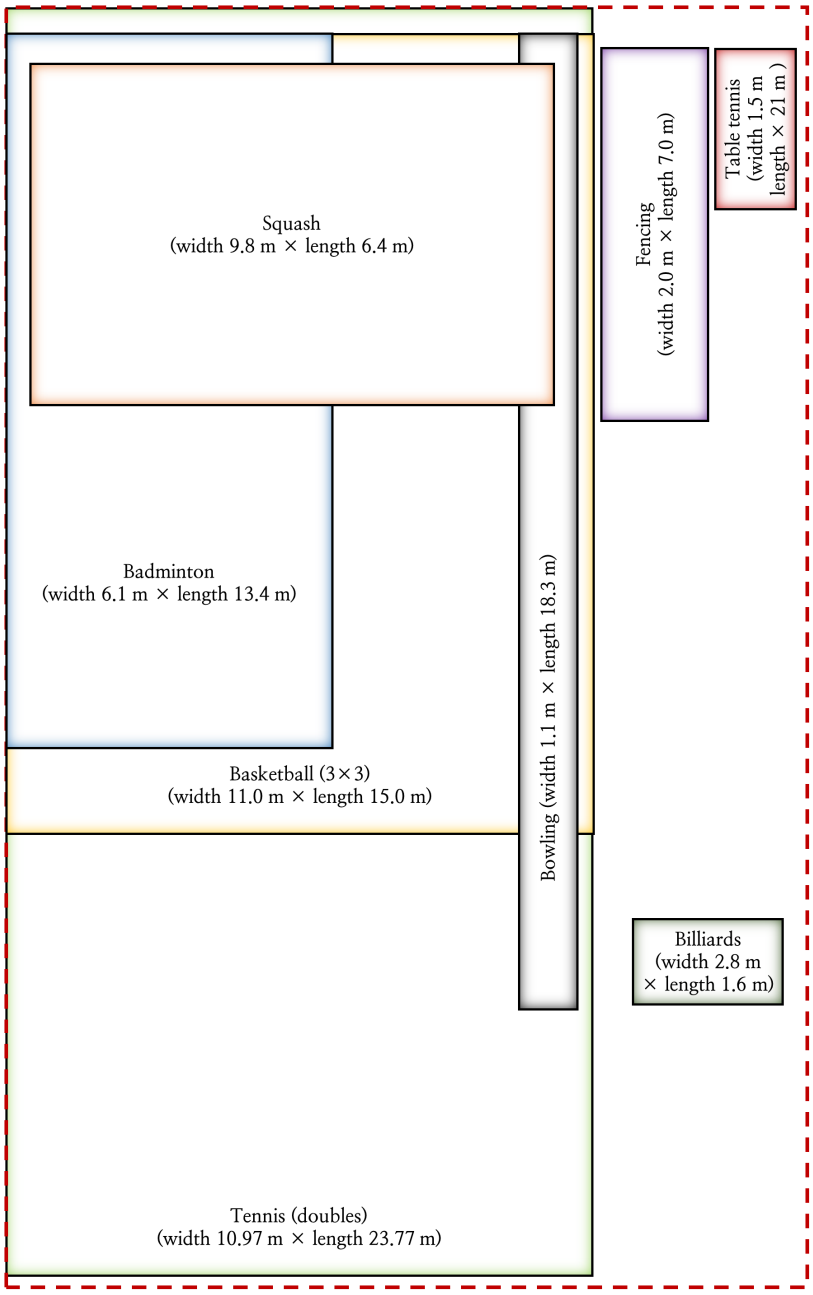

Fig. 8. Layout of public sports facilities in the underground space of Jeongseon limestone mine, South Korea. The underground space is depicted as a red dashed rectangle.

공공체육시설의 설치 적합성은 지하공간의 크기와 종목에 따라 달라진다. 상대적으로 소규모의 공간을 차지하는 공공체육시설의 필요 폭을 3 m로 설정하였으며, 3 m를 기준으로 구분 후 폐광산의 종류별 일반적인 규격을 고려해 공공체육시설별 설치 적합성을 Table 2 및 Table 3과 같이 평가하였다. 폭 3 m 이하의 갱도 또는 채광 공동에 공공체육시설은 당구 경기장, 탁구 경기장, 볼링 경기장, 펜싱 경기장이 설치 가능하고(Table 2), 폭 3 m 이상의 갱도 또는 채광 공동의 경우 컬링 경기장, 스쿼시 경기장, 배드민턴 경기장, 3 × 3 농구 경기장, 테니스 경기장이 설치에 유리할 것으로 판단된다(Table 3).

Table 2. Suitability for the installation of public sports facilities of 〈3 m width based in abandoned mine types

Resource type	Billiards	Table tennis	Bowling	Fencing
Metals	△	△	○	△
Nonmetals	○	○	○	○
Coal	△	△	○	△

○: applicable, △: applicable in case of large underground space, ×: not applicable.

Table 3. Suitability for the installation of public sports facilities of 〉3 m in width in abandoned mine types

Resource type	Curling	Squash	Badminton	3 × 3 Basketball	Tennis
Metals	×	×	×	×	×
Nonmetals	○	△	△	△	△
Coal	×	×	×	×	×

○: applicable, △: applicable in case of large underground space, ×: not applicable.

폐광산 지하공간 재활용 시 지역발전 기대효과

폐광산의 지하공간을 데이터센터 및 공공체육시설로 활용할 경우 기대할 수 있는 지역발전 효과에 대해 고찰하면 다음과 같다.

폐광산의 지하 데이터센터 설치 공간으로의 활용에 대한 기대효과

탄소 저감 효과

데이터센터를 폐광산 지하공간에 건설할 경우 암반의 상대적으로 낮은 열 흐름으로부터 시설 내 냉각 요구량이 감소되며, 지상보다 낮은 환경유지시설 비용으로 건설이 가능하다(Suh et al., 2005). 또한 냉각에 소요되는 전력비용의 절감 효과를 얻게 되고 이와 연계하여 탄소발생 저감 효과를 기대할 수 있다(Kim et al., 2006).

보안성 증가 효과

해외의 경우 데이터센터를 국가중요시설로 구분하고 외부 침입 또는 공격으로부터 보호하기 위해 벙커형 지하 데이터센터가 고려되는 추세이다. 따라서 폐광산의 지하 유휴공간을 이용하여 데이터센터를 건설 시 운영의 안정성과 외부 영향으로부터의 보안성에 이점을 가질 수 있다(Ra and Lee, 2011).

수도권 밀집 해소

국내 데이터센터는 수도권에 약 70%가 집중되어 있다(Korea IT Service Industry Association, 2015). 그렇기 때문에 대부분 비수도권인 폐광산 지역에 건설을 한다면 데이터센터의 수도권 밀집현상 해소에도 기여할 수 있을 것으로 예상된다(Table 4). 또한 지역주민의 고령화가 진행된 폐광산 지역일 경우 데이터센터 운영과 유지관리를 위한 일자리가 창출되면 청년 인구의 유입 및 지역경제 활성화를 기대할 수 있다.

Table 4. Survey of abandoned mines in South Korea in 2022 by location (Open Government Data, 2023b)

Region		Number of abandoned mines	
Capital region	Seoul	7	510
	Incheon	84	
	Gyeonggi-do	419	
Areas outside capital region	Daegu	13	4,609
	Daejeon	4	
	Gwangju	25	
	Busan	21	
	Sejong	28	
	Ulsan	33	
	Gangwon-do	891	
	Gyeongsangnam-do	374	
	Gyeongsangbuk-do	783	
	Jeollanam-do	473	
	Jeollabuk-do	315	
	Chungcheongnam-do	903	
	Chungcheongbuk-do	746	

폐광산의 공공체육시설 설치 공간으로의 활용에 대한 기대효과

운용환경 제약 해소

공공체육시설을 폐광산의 지하 유휴공간에 건설하면 외부 날씨나 기온에 영향을 최소화하여 체육활동을 즐길 수 있으며, 지하공간의 특징인 항온성을 이용하여 지상 체육시설 대비 여름과 겨울 시기 냉난방 비용의 효과적인 절감이 가능할 것으로 판단된다.

지역주민 의료비 지출 감소

체육시설의 공급 상위 지역이 하위 지역보다 의료비 지출이 감소한다는 연구결과가 보고된 바 있다(Seoul Metropolitan Government, 2012). 따라서 폐광산 지역에 기존 공공체육시설들이 충분하지 않은 경우 폐광산의 지하공간을 활용하여 공공체육시설을 신규 제공한다면 지역 주민들의 의료비 감소로 이어질 수 있을 것이다.

결 론

본 논문에서는 폐광산 지하공간을 대상으로 데이터센터 및 공공체육시설의 운용성 평가를 위해 해외 사례를 분석하고 국내 폐광산 종류 및 지하공간의 규모 특성을 고려하여 적용 가능성을 평가하였다. 데이터센터를 폐광산 지하공간에 설치할 경우 지하 고유의 항온성으로부터 냉각에너지 절감 및 에너지 생산 시 발생하는 탄소의 저감 효과까지 기대할 수 있다. 또한 지하공간의 보안성은 국가중요시설로 인식되는 데이터센터의 운용 안정성을 높여줄 것이다. 기존의 국내 데이터센터 대부분이 수도권에 집중되어 있으나 비수도권에 상대적으로 많이 분포하는 폐광산을 활용할 경우 수도권 밀집현상으로부터 기인하는 전력부하의 문제도 자연스럽게 해소될 수 있으며, 데이터센터 운영을 위한 인력의 필요성은 폐광산 지역

의 청년 일자리 창출과 지역경제 활성화에도 기여할 수 있다. 공공체육시설을 폐광산 지하공간에 설치할 경우 고유의 항온성 및 차광성으로부터 외부 기후에 영향을 최소화한 체육환경의 제공이 가능하다. 또한 지역주민의 공공체육시설 활용으로부터 주민복지와 의료비 감소를 기대할 수 있다. 이처럼 폐광산의 재활용은 기존의 폐광산에 대한 부정적인 인식을 개선하고 광업이 중단되어 침체된 지역경제와 주거환경을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

References

BKA (Badminton Korea Association), 2019, Badminton game facility regulations, Retrieved from http://koreabadminton.org/Community/about_badminton/PDS.asp (in Korean).

Bluebird Network, 2023, Data centers in Kansas City & St. Louis - Bluebird Network, Retrieved from http://bluebirdnetwork.com/data-center.

Business Insider, 2020, Inside Coober Pedy, Australia's underground mining town, Retrieved from http://www.businessinsider.com/inside-coober-pedy-australias-underground-town-2016-1.

Chang, H.J., 2018, A study on the effects of supply air temperature on the server cooling performance in a data center, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 30(2), 83-91 (in Korean with English abstract).

Cho, J., 2021, An analysis of the data center energy consumption structure for efficient energy utilization - In case of S telecom data center in Korea -, Journal of the Architectural Institute of Korea, 37(8), 153-164 (in Korean with English abstract).

Cho, S., Yim, G., Ji, S., 2014, A review on the regeneration cases for abandoned mine areas of Japan, Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, 51(6), 866-875 (in Korean with English abstract).

Choi, J.I., Kim, Y.C., 2005, Research on application of meteorology in sport events, Journal of Coaching Development, 7(4), 95-103 (in Korean with English abstract).

Chung, S.H., 2004, Regional decline and sociodemographic change in Kangwon southern-belt mine area, Korea Journal of Population Studies, 27(2), 205-229 (in Korean).

Chung, S.K., Cho, W.J., Han, K.C., Choi, S.O., 1998, Alternative utilization of underground spaces with abandoned mine openings, KR-98(C)-52, KIGAM Research Report, 174p (in Korean with English abstract).

Dong, X., Wu, Y., Chen, X., Li, H., Cao, B., Zhang, X., Yan, X., Li, Z., Long, Y., Li, X., 2021, Effect of thermal, acoustic, and lighting environment in underground space on human comfort and work efficiency: A review, Science of The Total Environment, 786, 147537.

FIBA (International Basketball Federation), 2023, Basketball rules, Retrieved from http://www.fiba.basketball/documents#tab=efb3a7a8-15d1-494b-8070-f55bd809304c.

FIE (International Fencing Federation), 2023, New to fencing, Retrieved from http://fie.org/new-to-fencing.

Grand Slam Sports Equipment, 2014, Fancy a hit of tennis in a cave?, Retrieved from http://grand-slam.com.au/fancy-hit-tennis-cave.

Ha, M.K., Kim, A.H., Lee, H.C., 2013, A study on the spatial planning of community in urban underground space for sustainable urban regeneration, Korean Institute of Interior Design Journal, 22(3), 205-216 (in Korean with English abstract).

He, L., Song, Y., Dai, S., Durbak, K., 2012, Quantitative research on the capacity of urban underground space - The case of Shanghai, China, Tunnelling and Underground Space Technology, 32, 168-179.

Honister Slate Mine, 2023, Climb the mine, Retrieved from http://honister.com/product/climb-the-mine.

ITF (International Tennis Federation), 2023, Court size, Retrieved from http://www.itftennis.com/media/9026/court-size-org-requirements.pdf.

ITTF (International Table Tennis Federation), 2023, ITTF statutes 2023 (clean version), Retrieved from http://documents.ittf.sport/document/311.

Jang, A., Jung, D.E., Jin, S., Do, S.L., 2023, Development of data center model for evaluation on cooling energy consumption by IT equipment heat load, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 23(4), 23-38 (in Korean with English abstract).

Ji, S.W., Yim, G.J., Cheong, Y.W., 2012, The strategic plan of mine hazards management in Korea from the case studies of the abandoned mine reclamation sites in the eastern USA, Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, 49(2), 239-247 (in Korean with English abstract).

Kang, D.J., 2007, Reuse methodology for abandoned mines as industrial heritage, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 34(6), 111-129 (in Korean with English abstract).

KBA (Korea Bowling Association), 1992, Association rules, Retrieved from http://bowling.or.kr/bbs/board.php?bo_table=rule&page=2 (in Korean).

KBF (Korea Billiards Federation), 2015, Laws of the game, Retrieved from http://www.kbfsports.or.kr/posts/rules (in Korean).

KFA (Korea Futsal Association), 2022, Futsal rules, Retrieved from http://koreafutsal.or.kr/futsalrule (in Korean).

Kim, D.M., Lee, H.S., Shin, H.J., Kang, D.J., 2009, A study on the field test of the ready-mixed shotcrete using in the large-scale mine, Proceedings of the KGS International Symposium on Urban Geotechnics, Incheon, 1511-1516 (in Korean with English abstract).

Kim, M.Y., Kim, Y., Chung, K.S., 2010, Energy saving characteristics of enthalpy control outdoor air cooling using dynamic simulation, Proceedings of the SAREK 2010 Summer Annual Conference, Pyeongchang, 1058-1063 (in Korean with English abstract).

Kim, S.H., Kim, Y.J., 2017, Demand characteristics and analysis of changes in spatial accessibility of public sports facilities, The Journal of the Korea Contents Association, 17(7), 283-293 (in Korean with English abstract).

Kim, S.H., Won, J.Y., Choi, Y.K., Lee, E.K., 2006, A study on the energy saving effects of free cooling system, Journal of Architectural Institute of Korea, 22(2), 228-234 (in Korean with English abstract).

Korea IT Service Industry Association, 2015, A foundation research for the data center industry development, 144p (in Korean).

Korean Law Information Center, 2023, Enforcement decree of the installation and utilization of sports facilities act, Retrieved from http://www.law.go.kr/법령/체육시설의설치ㆍ이용에관한법률시행령 (in Korean).

Koscom, 2021, Rapid growth in the data center market, key drivers, and outlook, Retrieved from http://newsroom.koscom.co.kr/29107 (in Korean).

Lee, C., Choi, S.W., Kang, T.H., Chang, S.H., 2019, Status and trend of foreign underground data centers, Tunnel and Underground Space, 29(1), 52-63 (in Korean with English abstract).

Lee, Y.S., Lee, G.W., 1995, Heat pipe heat exchanger, Proceedings of the KSME, 35(9), 805-815 (in Korean).

Lefdal Mine Datacenter, 2023, Lefdal mine datacenter, Retrieved from http://www.lefdalmine.com.

LightEdge Solutions, 2023, Lenexa data center, Retrieved from http://www.lightedge.com/lenexa-data-center.

Luo, X., Creighton, A., Gough, J., 2010, Passive seismic monitoring of mine-scale geothermal activity: A trial at Lihir open pit mine, Pure and Applied Geophysics, 167(1-2), 119-129.

Melaku, M., 2005, Geothermal development at Lihir - An overview, Proceedings of the World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 1-4.

MSIT (Ministry of Science and ICT), 2021, Strategy for technology innovation for carbon neutrality (draft), Retrieved from http://www.kier.re.kr/resources/download/tpp/carbon_climate1.pdf (in Korean).

Open Government Data, 2023a, Korea Mine Reclamation Corporation_Abandoned mine survey results (by mine type), Retrieved from http://www.data.go.kr/en/data/3077830/fileData.do.

Open Government Data, 2023b, Korea Mine Reclamation and Mining Corporation_Abandoned mine survey results (general status by region), Retrieved from http://www.data.go.kr/en/data/15067765/fileData.do.

Ra, J.H., Lee, S.H., 2011, Developing the framework of level diagnosis for green data center, Journal of Digital Convergence, 9(2), 141-152 (in Korean with English abstract).

Seoul Metropolitan Government, 2012, 2020 Seoul sport plan, 486p (in Korean).

Statistics Korea, 2020, Population Prospects of Koreans and Foreigners based on the 2019 Population Projections: 2017~2040, Retrieved from https://kostat.go.kr/board.es?mid=a20108080000&bid=11748&act=view&list_no=391737.

Statistics Korea, 2023, Ratio of current healthcare expenditure to GDP, Retrieved from http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=117&tblId=DT_11768_2009NN4&conn_path=I3 (in Korean).

Suh, H.S., Park, J.E., Bang, Y.B., 2005, Feasibility study on heat pump system using underground water of waste coal mine, Proceedings of the SAREK 2005 Summer Annual Conference, Pyeongchang, 208-213 (in Korean with English abstract).

The Guardian, 2013, Underground cricket: The world's first subterranean match, Retrieved from http://www.theguardian.com/sport/gallery/2013/dec/05/underground-cricket-world-first-subterranean-match-pictures.

Tourist Vâlcea, 2023, Salina Ocnele Mari, Retrieved from http://www.valceaturistica.ro/atractii-turistice-valcea/salina-ocnele-mari.

US EPA (United States Environmental Protection Agency), 2009, RE-powering America's land: Siting renewable energy on potentially contaminated land and mine sites, Summitville Mine, Rio Grande County, Colorado success story, Retrieved from https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-04/documents/success_summitvillemine_co.pdf.

WCF (World Curling Federation), 2023, What is curling?, Retrieved from http://worldcurling.org/about/curling.

WSF (World Squash Federation), 2013, Specifications for squash courts, Retrieved from http://www.worldsquash.org/court-construction.

Yoo, S.H., Lee, J.S., Kwak, S.Y., Euh, S.S., 2011, Assessment of value of mine reclamation projects, Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, 48(2), 127-136 (in Korean with English abstract).

Zip World, 2023, Underground golf, Retrieved from http://www.zipworld.co.uk/adventure/underground-golf.