해설

광산업에서의 디지털 이노베이션

김범중¹ · 유경근^{2*}¹EY한영회계법인 전략재무자문본부, ²한국해양대학교 에너지자원공학과

Digital Innovation in Mining Industries

Bumchoong Kim¹ and Kyoungkeun Yoo^{2*}¹Strategy and Transactions, Ernest & Young Hang Young, Seoul, Korea²Department of Energy and Resources Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

***Corresponding Author.** Kyoungkeun Yoo, kyoo@kmou.ac.kr, Department of Energy and Resources Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

Received

15 January 2021

Final version Received

15 February 2021

Accepted

23 February 2021

Abstract

Productivity in the mining industry declined in the 2000s due to a slowdown in industrial innovation from the 1980s to the 1990s. Therefore, major mining companies attempted digital transformations to improve their responsiveness to changing environments at industrial sites, develop predictive maintenance systems, and prevent the loss of on-site support resources. This study reviews the automation and predictive maintenance systems that were introduced to the mining industry as major policy changes to promote the introduction of the 4th industrial revolution to the domestic mining industry.

Key words : Digital transformation, automation, predictive maintenance, productivity

요약

1980년대부터 1990년대까지 산업혁신이 부진하여 2000년대 자원산업의 생산성이 감소하였다. 메이저 광업회사들은 디지털 전환을 시도하여 변화하는 현장에 대한 대응능력을 개선하고, 예측 점검 시스템을 마련하며, 현장 지원자원 손실의 방지 등을 실현하고자 하였다. 이 글에서는 메이저 광업회사들의 도입한 디지털 전환 주요 정책으로서 광산업에 대한 자동화와 예측 유지보수 시스템의 도입 사례를 검토하여 국내 광산업의 4차산업 도입을 촉진하고자 하였다.

주요어 : 디지털 전환, 자동화, 예측유지보수, 생산성

서론

정보통신기술이 발달함에 따라 정보통신산업이 다른 산업과 융합하며 혁신을 촉진하는 4차산업혁명의 시대가 도래하였다(Chung *et al.*, 2016). 제조산업분야에서 각 기업은 혁신전략으로 스마트공장을 채택하려 하고 있으며, 이를 통해 생산설비 스스로 생산과정 전반에 대한 정보를 수집·판단해 생산 자동화를 추구하는 등 제조 경쟁력 강화를 위해 노력하고 있다(Chung *et al.*, 2016). 자원산업분야에서도 친환경, 고효율, 저비용의 광산시스템 구현을 위한 스마트광산 개념이 제기되고 있다(Choi, 2018). 스마트광산기술은 주로 AICBM이라고 통칭되는 인공지능(AI, artificial intelligence), 사물인터넷(IoT, Internet of Things), 클라우드 서비스(Cloud), 빅데이터(Big data), 그리고 모바일(mobile) 기술을 포함한다.

우리나라는 99% 이상의 금속자원을 수입에 의존하는 대표적인 자원빈국으로 희소금속의 무역역조 규모가 2015년 기준으로 35억달러를 기록하고 있다(Kim *et al.*, 2018, 2019). 국내 광산업은 수십년에 걸쳐 생산량이 감소되어 왔으며, 특히 석탄의 경우는 정부의 적극적인 폐광 시책으로 최근까지 5개 정도의 탄광만이 운영을 하고 있다. 우리나라 정부는 자원시장 변화에 대응하기 위한 제6차 해외자원개발 기본계획에서 향후 추진 목표의 하나로 스마트 자원개발 플랫폼 등의 차세대 전략기술개발을 설정하고 있다(Kim and Kim, 2020). 이는 우리나라가 기술 선진국 지위를 유지하고 있는 정보통신산업의 기술요소를 자원개발분야에 도입하여 적극적으로 스마트마ining 엔지니어링기업을 육성하고자 하는 의도로 해석된다.

스마트 자원개발기업을 육성하기 위해 자원개발분야 전 주기에서 다양한 기술이 검토되고 있다. 광업분야에서의 딥러닝 기술 적용(Yi, 2019), 금속회수공정에서 공정광물학 역할 정립(Lee, 2019b), 폐금속 회수효율성 향상을 위한 다변량 통계와 심층신경망 분석 이용(Yoon *et al.*, 2019), 자원공학분야에의 디지털 트윈 적용(Lee, 2019a), 사물인터넷 기술의 적용(Kim, 2019), 증강현실과 가상현실 기술의 활용(Suh, 2019) 등이 보고되고 있다.

자원개발분야에서 4차산업요소를 도입한 스마트마ining 기술 확립을 위해 상기와 같은 기술개발이 중요하지만, 자원분야기업들이 스마트마ining 기술의 요소를 도입하는

이유와 효과에 대해 검토하는 것도 중요하다. 이 글에서는 4차산업을 대비하는 메이저 광업회사들의 디지털 전환(digital transformation)사례를 정리하여 국내 광산업의 4차산업 추진에 도움이 되고자 하였다.

광산업 디지털 전환의 필요성과 전환 준비

Ernst & Young Global Limited가 ‘EY Data Analysis – Mining Industry’에서 보고한 2004년부터 2012년까지 자원산업강국들의 생산성 변화를 2004년을 100으로 하여 Fig. 1에 나타내었다. 국가별로 차이는 있으나 전체적으로 생산성이 감소경향에 있는 것을 알 수 있으며, 전체적으로 약 40% 정도의 생산성 감소가 보고되고 있다. 생산성 감소 경향의 원인은 인건비, 인허가비용, 환경관리비용의 인상 및 고품위 광상의 고갈 등 다양한 원인을 생각할 수 있으나, 특히 1980년대부터 1990년대까지 산업 혁신이 저조했고, 규모 확대에 집중하여 적절한 시기에 혁신이 이루어지지 않은 것이 원인으로 생각된다.

메이저 광업회사들은 생산성 향상을 위한 주요 수단으로서 디지털 전환(digital transformation, DT)를 검토하였다. 예를 들어 디지털 전환을 통해 광산에서 변화하는 현장 상황에 대응하는 능력을 개선하고, 주기적 기기 점검을 예측 점검으로 전환하며, 현장 지원을 하는 자원 손실의 방지 등이다. 이와 같이 메이저 광업회사의 디지털 전환은 생산

Fig. 1. Mining labor productivity from 2004 to 2012 in select countries.

Fig. 2. Flowchart showing the way to digitally transform the mining industry.

성 향상을 주요 목표로 하여 병목현상 해결 등에 중점을 두었고 현재 이를 전 분야에 대해 확산하는 목표를 갖고 있다.

Fig. 2에 Ernst & Young Global Limited가 ‘EY Data Analysis – Mining Industry’에서 제시한 자원산업에서의 디지털 전환 프로그램을 나타내었다. 이 프로그램에서 디지털 전환의 사전 준비(pre-start)의 필요성을 제안하고 있는데, 해당기업의 비즈니스 전략과 일치하는 명확하게 공유된 디지털 비전의 설정, 우선 순위가 높은 영역에 디지털 요소 매칭, 현재의 디지털기술 성숙도 이해, 그리고 디지털 전환을 효과적으로 시작할 수 있도록 인프라 및 데이터 수집 시스템에 대한 투자를 포함한다.

광산업 디지털 전환의 현재와 미래

주요 메이저 광업회사들은 디지털 전환을 통한 생산성 향상을 위해 자동화 및 예측 유지보수를 시작하였다. Table 1에 메이저 광업회사에 의한 주요 디지털 전환 사례를 정리하여 나타내었다. 광산업에 대한 자동화(Automation) 적용 사례로 Rio Tinto는 자동운반시스템(autonomous haulage system) (Jang, 2019), 광산 자동화 시스템(mine automation system), 그리고 자동드릴링 시스템(autonomous drilling system)을 추진하였으며, BHP는 광물을 운반하는 철도 일정을 자동화하고, 인공지능을 이용한 일련의 결정시스템을 도입하였다. Vale는 트럭과 원료광물의 적재 운영에 자동화 시스템을 도입하여 생산성을 개선하고자 하였다.

종래의 정기적 유지보수에서 디지털 프로그램을 이용한 예측 유지보수 시스템도 도입사례가 증가하고 있다. BHP는 자동화된 석유플랫폼 콤포레서를 도입하는 등 유지관리를 위한 Center of Excellence를 설립하여 유지관리비용

을 20% 감축하려하고 있고, Vale는 조사 및 유지시스템을 도입하여 11-14 % 절감을 목표로 하였다. 이외에도 Anglo American은 FutureSmart MiningTM을 도입하여 생산성 향상을 도모하고자 하였다.

예측 유지보수 시스템을 도입하면 유지 및 보수 기간을 연장할 수 있고 계획된 유지보수 성능을 개선하여 비용이 많이 드는 고장에 대한 유지보수를 최소화 할 수 있다. 또한 유지보수 계획 및 계획설정 자동화는 회사의 전략이 계획과 일정에 반영되도록 하고 유지보수의 비용을 낮출 수 있다고 평가된다. 이를 위해 데이터를 확보하고 머신러닝을 통해 분석하여 예측 결과를 형성하는 시스템을 마련하는 것이 필요하다. 이 예측 결과는 개발계획 및 스케줄링 기능과 연결하여 장비 등 자산에 대한 유지보수 전략을 설정도 록 하는 것이 필요할 것이다.

주요 메이저 광업회사들은 디지털 전환을 통하여 자원 개발 가치사슬 전반에 걸쳐 신속한 의사결정을 통해 생산성과 이익을 개선하며 최종적으로 고객의 기대에 부응하는 제품을 제공하고자 하였다. 즉, 자원개발 계획과 실행 사이의 조정을 통해 전체적인 문제 해결을 가능케 하며, 운반 및 플랜트 운영의 효율성을 증가시키고, 선박관리시스템을 통해 광물 선적과 하역시 정제시간을 감소시키는 등 주요 병목 현상을 지속적으로 모니터링하고 관리하여 이익 증대를 실현하였다.

주요 메이저 광업회사들이 현재 자원개발 전주기에 걸쳐 추진하고 있는 디지털 전환 프로그램을 Table 2에 정리하였다. 탐사에서는 광체를 디지털 정보화하여 광석 동정을 개선하고, 기존에 잘 알려지지 않은 광체를 발견하기 위한 인공지능형 geo-mapping 소프트웨어를 사용할 계획을 갖고 있다. 채광과정에서는 기술적 bottleneck과 다운스트

Table 1. Digital transformation initiatives by major mining companies

Company		Programs
Automation	Rio Tinto	Autonomous haulage system; RTVis ² ; mine automation system (MAS); autonomous drilling system (ADS)
	BHP	Further upside expected from rail automation scheduling and communications-based signaling systems; artificial intelligence to automate decision-making
	Vale	Autonomous trucks; fully automatic stackers and reclaimers; modernization of dispatch systems; train control optimization; semi-autonomous locomotives
Predictive maintenance	BHP	Offshore compressors on oil platforms
	Vale	Automated inspection and maintenance
Other digital initiatives	Anglo American	FutureSmart Mining TM concept; intelligent mine ³ ; digital twin ²
	Vale	Advanced and predictive analytics; smart planning and process optimization

²Visualization software using MAS

³<https://www.angloamerican.com/futuresmart/stories/our-industry/technology/picture-this-the-intelligent-mine>

⁴<https://about.bnef.com/blog/anglo-using-digital-twins-robotics-boost-mining-qa/>

Table 2. Digital transformation of the mining value chain

Exploration	<ul style="list-style-type: none"> Improved ore characterization through digitised ore bodies AI combined with geo-mapping software to identify previously unknown ore bodies
Mining operations	<ul style="list-style-type: none"> End-to-end analysis of bottlenecks and downstream trade impacts Intelligent automation and advanced optimisation to improve real time decision making
Processing	<ul style="list-style-type: none"> Digital "twin" simulation models to rapidly identify and rectify process variances Predictive asset health systems to detect asset condition and suggest recommended actions
Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> Predictive analytics to extend maintenance windows Automated planning and scheduling to reduce labour needs
Trading	<ul style="list-style-type: none"> AI combined with block chain technology to automate contracts, optimise pricing and reduce costs Predictive trend modelling to anticipate buyer behaviours

림 거래에 대한 종단(end to end)분석에 활용하거나 실시간 의사 결정을 개선하기 위한 지능형 자동화 및 최적화를 위해 노력하고 있다. 광물처리과정에서는 처리공정의 효율을 신속하게 식별하고 개선하기 위한 디지털트윈 시뮬레이션 모델을 적용하려 하고 있다. 이미 적용되고 있던 예측유지관리에서는 유지보수기간을 연장하고 노동력을 줄이기 위한 시스템 도입을 위해 노력하고 있다. 마지막으로 거래에서는 인공지능과 블록체인기술을 결합하여 계약을 자동화하고 가격을 최적화하며, 구매자 행동을 예측하기 위한 모델링을 도입하고자 하고 있다.

상기의 시스템을 실현시키기 위해 Vale는 통합운영센터(Integrated operating center)를 설치하였고, 많은 광업회사가 디지털트윈의 사용을 검토하고 있다. 블록체인시스템의 경우 De Beers는 블러드 다이아몬드(Blood diamond)를 박멸하기 위한 수단으로, BHP는 지질시료의 이동을 기록하고 추적하기 위해, 마지막으로 Global Miner는 보험 비용을 줄이기 위한 수단으로 도입을 시도하고 있다.

디지털전환을 시도하여 디지털시스템을 자원개발분야에 도입할 경우, 해킹 등의 위험에 노출되기 쉬워진다. 따라서 디지털전환을 위해서는 보안프로그램과 모니터링프로그램의 강화하고 회사에 대한 사이버위험을 이해하며, 보안태세의 유지를 위한 거버넌스 수립이 요구된다. 디지털전환이 가속화될수록 자동화 등에 의해 자원개발분야에서 일자리는 감소할 수 있으며, 사회적으로는 이에 대한 대비책이 요구될 수 있다.

맺음말

2004년 ~ 2012년 사이 자원산업강국들의 생산성은 전체적으로 약 40% 정도 감소하였고, 이는 인건비, 인허가비용, 환경관리비용의 인상 및 고품위 광상의 고갈 등 다양한

원인을 생각할 수 있으나, 특히 1980년대부터 1990년대까지 산업 혁신이 저조했고, 규모 확대에 집중하여 적절한 시기에 혁신이 이루어지지 않은 것이 원인으로 생각되었다. 메이저 광업회사들은 광산에서 변화하는 현장 상황에 대응하는 능력을 개선하고, 주기적 기기 점검을 예측 점검으로 전환하며, 현장 지원을 하는 자원 손실의 방지 등을 목표로 디지털 전환을 시도하고 있다. 이를 위해 해당기업의 비즈니스 전략과 일치하는 디지털 비전의 설정, 우선 순위가 높은 영역에 디지털 요소 매칭, 현재의 디지털기술 성숙도 이해, 그리고 디지털 전환을 효과적으로 시작할 수 있도록 인프라 및 데이터 수집 시스템에 대한 투자를 사전준비로 시도하였다. 디지털 전환의 주요 정책으로서 광산업에 대한 자동화와 예측 유지보수 시스템의 도입 사례를 검토하였고, 메이저 광업회사들은 이를 통해 생산성을 혁신하고 있는 것을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 ‘국내 부존 바나듐(V) 광물자원 선광/제련/활용기술 개발(GP2020-013, 21-3212-1)’ 과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Choi, Y., 2018. Analysis of patent trend for ICT-based underground mine safety management technology. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 55(2), p.159-164.
- Chung, S., Jeon, J.Y., and Hwang, J.J., 2016. Standardization strategy of smart factory for improving SME's global competitiveness. *Journal of Korea Technology Innovation Society*, 19(3), p.545-571.
- Kim, B., Kim, J., and Yoo, K., 2019. Recycling status of gold, silver, platinum and palladium. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 56(4), p.359-366.
- Kim, B.C., Chae, S., Kim, J., and Yoo, K., 2018. Oversea production status of gold, silver, platinum and palladium from scrap. *Journal of the Korean Institute of Resources Recycling*, 27(6), p.76-83.
- Kim, D. and Kim, Y., 2020. Implications of the 6th national program for overseas resources development. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 57(4), p.392-397.
- Kim, S., 2019. Review of internet of things and open-source hardware technologies use in the mining industry. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources*

- Engineers*, 56(5), p.447-456.
- Lee, S., 2019a. Applications and prospects of digital twin technology in mineral and energy resource engineering. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 56(5), p.427-434.
- Lee, S., 2019b. Role of process mineralogy in processes to recover metals from mineral resources. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 56(5), p.548-560.
- Suh, J., 2019. Utilization of augmented and virtual reality technologies in geoscience and mining. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 56(5), p.468-479.
- Yi, H., 2019. Case analysis of applications for deep learning technology in the mining industry. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 56(5), p.435-446.
- Yoon, S., Choi, J.H., and Wee, D., 2019. Improvement of waste metal recovery efficiency using multivariate statistical and deep neural network analysis. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 56(5), p.535-547.

김 범 중

1998년 한양대학교 자원공학과 공학사
2010년 헬싱키경제대학교 MBA
2020년 한양대학교 대학원 자원환경공학과 공학박사

현재 EY한영회계법인 에너지섹터 리더 & 파트너
한양대학교 공과대학원 에너지자원공학과 겸임교수
KDI 해외 예비타당성 심의위원회 자문위원
산업통상자원부 해외자원개발 혁신 2차 TF 자문위원
국민연금 기금운용본부 대체투자위원회 자문위원
(E-mail; bum-choong.kim@kr.ey.com)

유 경 근

현재 한국해양대학교 에너지자원공학과 교수
(本學會誌 第56卷 第1号 参照)