

해설

인공지능과 스마트팩토리의 국내 제조업 적용

김범중¹ · 안영진² · 유경근^{3*}

¹파트너, EY한영회계법인 전략재무자문본부, ²한국해양대학교 에너지자원공학과 석사과정, ³한국해양대학교 에너지자원공학과 교수

Incorporation of Artificial Intelligence and Smart Factories in Domestic Manufacturing Industries

Bumchoong Kim¹, Youngjin Ahn² and Kyoungkeun Yoo^{3*}

¹Partner, Strategy and Transactions, Ernest & Young Hang Young, Seoul, Korea

²Master's Degree, Department of Energy and Resources Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

³Professor, Department 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

25 November 2021

Final version Received

10 December 2021

Accepted

27 December 2021

Abstract

In this study, the incorporation of artificial intelligence and smart factories in domestic manufacturing industries was examined for determining the means to improve the efficiencies of metallurgical processes and resource-processing operations. Consequently, it was found that the development of new artificial intelligence-based sensors is necessary for collecting data from the individual processes so that the issues associated with the processes can be addressed by employing the collected big data. Furthermore, increasing number of schemes are being developed for incorporating smart factories in domestic manufacturing industries, and the majority of such schemes are aimed at reducing the consumption of energy and raw materials by optimizing logistics systems or introducing automation.

Key words : manufacturing industries, smart factories, optimization, artificial intelligence

요약

본 연구에서는 국내 제조업에 적용되는 인공지능과 스마트팩토리의 방향을 검토하여 자원처리공정과 제련공정의 효율을 향상시키기 위한 방향을 제시하고자 하였다. 자원처리공정이나 제련공정에 적합한 인공지능 시스템을 구축하기 위해서는 각 개별 공정에서 데이터를 수집할 수 있는 새로운 센서의 개발이 필요하며, 여기서 확보한 빅데이터를 활용하여 제조업의 문제를 해결할 인공지능 시스템을 개발해야한다. 최근 스마트팩토리를 국내에서 제조업에 적용하기 위한 시도가 증가하고 있으며, 대부분 물류시스템을 최적화하거나 자동화를 도입해 공정의 에너지나 원료를 저감시키는 방향이 제안되고 있다.

주요어 : 제조산업, 스마트팩토리, 최적화, 인공지능

서 론

정보통신기술(ICT, information and communication technology)의 발전에 따라 정보통신산업이 타산업들과

융합되어 혁신을 촉진하는 4차산업혁명(4th industrial revolution)이 진행되고 있다(Chung *et al.*, 2016). 이에 국내외 제조기업들은 스마트공장(smart factory)을 혁신전략의 하나로 채택하려 하고 있으며, 스마트공장 내 구축된 스

마트시스템이 생산과정에 대한 전반적인 정보를 수집·판단해 생산공정의 자동화를 추구하는 등 제조 경쟁력 강화에 기여할 것으로 생각되고 있다(Kim and Yoo, 2021). 한편, 자원개발산업분야에서도 친환경, 고효율, 저비용의 광산개발체계 구현을 위한 스마트마이닝(smart mining) 개념이 제안되고 있다(Choi, 2018). 스마트광산기술은 인공지능(AI, artificial intelligence), 사물인터넷(IoT, Internet of Things), 클라우드 서비스(Cloud), 빅데이터(Big data), 그리고 모바일(mobile) 기술을 접목하거나 응용하는 것을 포함하며, 일반적으로 이 기술들은 AICBM이라고 통칭된다(Kim and Yoo, 2021).

우리나라는 금속광물자원의 99% 이상을 수입에 의존하며 희소금속의 무역역조는 2015년 35억달러에서 2020년 114억달러로 증가하고 있다(Kim et al., 2018, Kim et al., 2019, Kim et al., 2021b). 국내 광산업은 수십년에 걸쳐 생산량이 감소되어 왔고, 현재 운영 중인 광산들의 규모도 점차 축소되고 있는 추세이다(Kim and Yoo, 2021). 우리 정부는 제6차 해외자원개발 기본계획을 수립하고, 향후 스마트 자원개발 플랫폼 등의 차세대 전략기술개발을 주요 목표로 설정하고 있다(Kim and Kim, 2020). 기술수준이 매우 높은 국내의 정보통신산업을 자원개발분야에 연계하여 스마트마이닝 관련 산업을 육성하는 것이 기본계획 목표의 주요 내용이다.

스마트광산개발의 개념을 확립하고 관련된 기술을 개발하기 위해 다양한 연구가 다음과 같이 진행되었다. 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), 광산업에서의 디지털 이노베이션(Kim and Yoo, 2021) 등이 보고되고 있다.

자원처리 및 제련공정은 채굴된 광석을 대상으로 금속 등의 유가자원을 산업용 원료로 공급하기 위한 개발에 역점을 두어왔기 때문에, 자원개발 전주기의 후단에 위치한 기술이나 AICBM요소를 고려한 기술개발은 채광공정 등

에 비하면 매우 부족한 현실이다. 따라서 본 연구에서는 인공지능 등의 선광제련공정 적용 가능성을 검토하고 현재 제조업 분야에 적용되고 있는 스마트팩토리에 대해 조사하여 국내 스마트 선광제련공정 개발에 방향을 제시하고자 하였다.

제조업 분야의 인공지능 적용 방향

인공지능(AI, artificial intelligence)은 수학적 표현이 어려운 복합적인 사람의 두뇌를 데이터를 기반으로 하여 모사하는 것이다(Cho, 2021). 이와 비교되는 개념은 데이터 마이닝으로서 빅데이터에서 체계적이고 자동으로 통계적 규칙 또는 일정한 경향을 발견하는 것이다(Bini, 2018). 인공지능이라는 용어는 다펜스 콘퍼런스에서 사용되었고, Lisp나 Prolog 등의 프로그램 언어로 룰 기반의 시스템 개발이 주류를 이루었다고 알려져 있다(Cho, 2021). 이 기술은 최근 30년간 가장 혁신적으로 발전해왔으며, 산업 전반에 광범위한 영향을 끼칠 것으로 전망되고 있다(Lee et al., 2020).

Table 1은 제조산업에 적용될 수 있는 대표적인 인공지능 융합기술 분야를 정리하여 나타낸 것이다(Lee et al., 2020). 제품 디자인 및 설계에 적용되는 것으로 기대되는 제너레이티브 디자인(generative design technology)은 고객의 요구사항에 적합한 제품 디자인을 자동으로 생성하거나 추천하며, 제품설계 전 단계의 지능화와 자동화를 통해 설계 비용 및 시간을 절감할 수 있도록 도입된다. 작업환경 분야에 적용될 수 있는 기술은 스마트 작업대(smart workbench) 기술과 지능형 실감 인터랙션 가이드(real-sense interaction guide) 기술로 대별될 수 있는데 스마트 작업대 기술은 안전한 작업 환경 제공 및 작업자 맞춤 최적 작업을 계획하거나 할당하며, 인간과 로봇의 최적 협업을 통해 생산성을 향상시키거나 노동의 피로도를 감소하게 할 수 있다. 또한 지능형 실감 인터랙션 가이드 기술은 작업자가 작업 숙련도를 향상시키기 위해 증강현실(AR, augmented reality), 가상현실(VR, virtual reality), 확장현실(XR, eXtended reality) 등의 시스템을 도입하거나, 실감 시스템을 도입하여 기술

Table 1. Artificial intelligence technologies with their corresponding fields of application

Field	Technology
Product design	Generative design technology
Work environment	Smart workbench technology
	Real-Sense interaction guide technology
Quality control	Anomaly detection technology
Management	Intelligent manufacturing facility

에 익숙해지는 시간을 단축하거나 제품의 불량률을 낮추는데 기여하도록 한다. 품질관리를 위해서 사용될 수 있는 기술은 이상탐지(anomaly detection) 기술이며, 주로 일상적인 공정이나 제품생산에서 이상 작동과 상황이 발생할 때 불량이나 품질이 저하되는 요인을 탐지한다. 마지막으로 설비운용 분야에서 사용이 기대되는 AI 융합기술은 지능형 설비(intelligent manufacturing facility) 기술이며, 이는 생산 현장에서 발생할 수 있는 여러 상황에 대한 적절한 대처를 자동으로 하는 내용을 포함하며, 공정의 목적을 인지하고, 생산을 자동화하는 협업제조를 가능케 할 수 있다.

상기에 정리한 내용처럼 제조공정에 적용할 수 있는 다양한 인공지능기술이 검토되고 있으나 인공지능기술이 많이 알려진 계기 중 하나는 개와 고양이 사진을 구별하는 프로그램이 만들어진 것이다(Fig. 1). 즉, 기존의 시스템으로 개와 고양이를 사진으로 구별하기 위해서는 개와 고양이의 특징을 각각 정의한 후, 프로그램이 사진을 각 정의에 부합하는지를 판단하는 것이었다. 그러나 항상 개와 비슷한 고양이나 고양이와 비슷한 개가 존재하여 실질적으로 범용적인 정의를 설정하기 곤란하다. 최근의 인공지능은 개와 고양이의 사진을 구별하기 위해 대량의 개와 고양이의 사진을 통해 학습을 하여 개와 고양이를 구별하는 방식을 채택하고 있다. 이와 같은 ‘학습’이라는 방식을 통해 사진을 구별하는 능력이 비약적으로 향상되었으나 현재로서는 AI가 개나 고양이라고 선택한 이유는 명확히 ‘정의’할 수 없어, 생산효율 향상을 위해 AI를 도입하려는 제조업의 입장에서는 AI가 판단한 명확한 ‘이유’가 없을 때 여러 가지 장점에도 불구하고 도입에 어려움을 겪을 수 있다.

상기에 기재한 것처럼 자원개발분야에서 채광 등의 공정에 AICBM 도입 연구가 활발한 것에 비해 자원처리 및 제련공정에 인공지능시스템을 도입하는 연구는 많지 않은 현실이다. 자원처리 및 제련공정에 AICBM 요소를 도입하기 위한 방향을 Fig. 2에 나타내었다.

일반적으로 자원처리 및 제련공정에 인공지능을 적용하여 이 공정들의 생산효율을 높이기 위한 방향을 얻고자 하나 지금까지 연구가 부족하여 실제로 인공지능을 적용해

얻을 수 있는 장점들이 명확히 제시되어 있지는 않다. 다만 일정방향을 정하여 향후 인공지능을 자원처리공정 및 제련공정에 도입하기 위해서는 인공지능을 학습시키기 위한 대량의 데이터가 필요하다.

기존의 자원처리공정이나 제련공정 중 데이터를 확보하는 것은 각 단위공정이 목적한대로 적절히 운영되고 있는지 확인하는 ‘정형화된’ 데이터나 자원처리공정이나 제련공정에는 기존에 측정되지 않았던 부분에서 결과물에 영향을 줄 수 있는 이벤트가 발생할 수 있으므로(예: 콘베이어 벨트 등 투입할 때 등) 비정형에 가까운 데이터를 추가로 확보하는 것이 중요하다. 데이터 확보에서 주요한 문제 중 하나는 ‘오염’의 문제이다(Ribeiro *et al.*, 2016). Fig. 3에 눈 위에 앉아있는 개의 형상을 나타내었다. Ribeiro *et al.*(2016)은 개(시베리안 허스키)와 늑대를 구별하는 인공지능 학습을 시키는 과정에서 시베리안 허스키의 일반적인 생활환경인 눈 위에서 촬영되는 이유로, 학습된 인공지능이 시베리안 허스키의 특징을 구별점으로 학습하는 것이 아니라 사진에서 눈의 존재 여부로 학습하는 것을 밝혀내었다. 즉, 인공지능이 목적하지 않은 내용을 학습하는 것을 방지하기 위해 데이터를 확보하는 과정에서 데이터의 ‘오염’을 주의해야한다.

마지막으로 자원처리공정 및 제련공정에 인공지능을 도입하기 위해서는 데이터 확보를 위한 적절한 센서와 사물인터넷(IoT, internet of things)의 구성이 필요하다. 기존 자

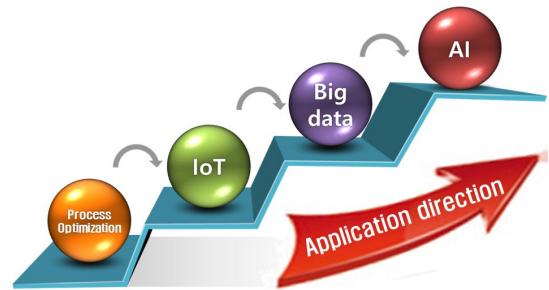


Fig. 2. Direction for the application of AICBM in manufacturing industries.



Fig. 1. Differentiating dog photos from cat photos using artificial intelligence.



Fig. 3. Image of a dog on snow.

원처리공정이나 제련공정에서 운전상황을 확인하기 위한 다양한 센서가 개발되어 사용되고 있으나 아직까지 가격이 높아 충분한 데이터를 확보하기에 어려움이 있다. 따라서 빅데이터를 확보하기 위한 센서의 개발과 IoT 시스템 구축이 해결되어야 할 것이다.

국내 제조업에서의 스마트팩토리 적용

우리나라 정부는 제조업에서의 스마트팩토리 적용을 통해 생산성 향상을 도모하기 위해서 스마트제조혁신추진단을 2019년 5월 3일에 발족시켰다. 스마트제조혁신추진단은 스마트공장의 정의를 ‘스마트공장은 제품의 기획부터 판매까지 모든 생산과정을 ICT(정보통신)기술로 통합해 최소 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 사람 중심의 첨단 지능형 공장’으로 정의하였으며, 이에 대한 개념을 Fig. 4에 정리하여 나타내었다(Ministry of SMEs and Startups, 2021).

스마트제조혁신추진단은 스마트팩토리의 적용범위를 제안하였으며, 이는 응용시스템 S/W, 제어자동화, 현장자동화로 대별되며, 이를 ICT 미적용, 기초, 중간1, 중간2, 고도의 5단계로 적용 수준을 나누어 스마트팩토리를 추진하는 내용이다. 스마트공장을 구성하고 수준 별로 발전시키기 위해 필요한 다섯 가지 조건은 다음과 같다(Ministry of SMEs and Startups, 2021). 첫째, ‘4M+1E의 디지털화’이며, 4M은 인력(Man), 설비(Machinery), 원료(Material), 방법(Method)를 이르며, E는 환경(Environment)을 이른다. ‘4M+1E의 디지털화’는 각 요소들을 실시간으로 디지털 값을 인지하고 측정 가능한 정보를 제공해야 하며, 통신을 통해 정보교환이 가능한 수준이다. 둘째, ‘지능화’이며 지능화는 알고리즘 또는 인공지능 등의 솔루션을 이용해

최적화하거나 예측 가능한 값을 제공해야하는 것을 지칭한다. 셋째, ‘통합’이며 사회망과 가치사슬을 통해 단대단(end-to-end)의 정보 교류가 이뤄지도록 하는 수평적 통합과 최하위 수준인 기계장치부터 기업비즈니스 수준까지 수직적 통합을 지향하는 것이다. 넷째, ‘엔지니어링 지식의 창출’이며 데이터를 지속적으로 확보하고 이를 근거로 자동화를 위한 제조 지식을 점차적으로 만들어낼 수 있어야 하는 능력이다. 마지막으로 ‘스마트 시스템과의 연결’이며 향후 발전 가능한 스마트 제품들과 통신 표준에 의해 연결이 가능한 시스템이어야 한다.

Woo and Cho(2018)는 국내의 스마트팩토리 제조업 적용사례를 정리하였는데, 여기서 스마트팩토리는 회사에 공급되는 원료나 부원료의 물류시스템이나 회사 공정내에서의 이동을 최적화하는 방향과 자동화를 통해 인건비를 절감하는 방식, 그리고 불량률을 낮추기 위한 시스템 도입 등이 주요한 내용으로 보고되었다.

Fig. 5에 포스코 ICT가 포스코의 공정에 스마트팩토리를 적용하기 위한 개념을 정리하여 나타내었다. 최근 포스코는 후판공정에서 품질관리를 위해 스마트팩토리 개념을 적용하고 있다(POSCO ICT, 2021). 이 시스템에서 다양한 카메라시스템을 이용해 정보를 취득하고 영상분류를 통해 구축된 데이터의 학습을 통해 모델을 구축하고 품질평가에 적용하였다.

다른 사례로서는 폐수처리공정에서 적용이 되는 공정최적화를 위한 스마트팩토리개념 도입한 공정이다(Kim et al., 2021a). 국내 폐수처리업체 등은 부하량과 응집제 투입 등에 대한 데이터를 취합하고 이 데이터를 학습한 시스템을 이용하여 공정의 효율을 크게 개선할 수 있다고 보고하였다(Kim et al., 2021a).

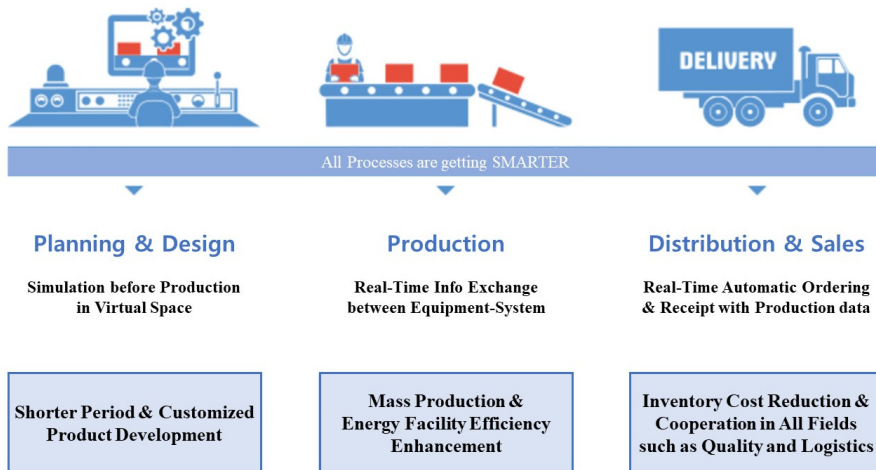


Fig. 4. Schematic diagram depicting the concept of a smart factory.

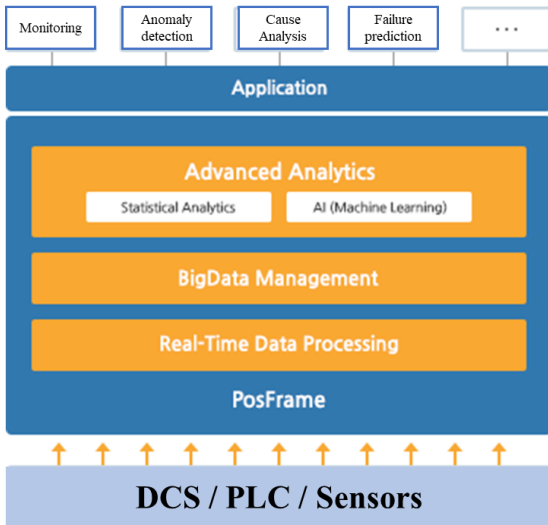


Fig. 5. Smart factory system in POSCO (distributed control system (DCS); programmable logic.

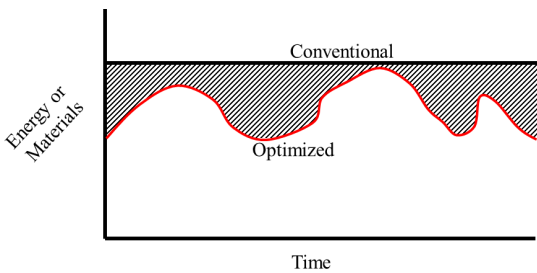


Fig. 6. Saving of energy and materials by smart factories.

현재 물류시스템 개선에 대한 스마트팩토리가 아니면 주로 공정의 최적화를 통하여 에너지나 투입원료를 저감하는 방향으로 개발되고 있다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 기존 공정(conventional processes)에서는 일정한 운전조건을 설정하여 운영한다면, 스마트팩토리를 적용하여 최적화한 공정(optimized processes)에서는 필요한 만큼의 에너지와 원료가 적절히 투입되어 빗금만큼의 에너지나 원료가 절약 될 수 있다. 다만 스마트팩토리 공정에 의해서 최적화된 조건이 실제로 필요한 에너지나 원료 투입량보다 낮게 설정 될 경우 불량으로 이어질 위험성이 여전히 존재한다.

자원처리공정과 제련공정의 단위공정에서도 스마트팩토리 개념을 도입하면 각 공정별 최적화를 통한 에너지 및 원료절감 효과를 기대할 수 있다. 예를 들어 자원처리공정에서 에너지 소비가 가장 큰 파분쇄공정의 경우, 에너지 저감을 위한 연구가 지속되어 왔으며 향후 스마트팩토리 개념을 적용한 최적화 연구가 필요하리라 생각된다.

맺음말

이 글에서는 자원처리공정과 제련공정의 효율을 향상시키기 위한 방향을 제시하기 위해 AICBM의 도입과 스마트팩토리 국내외 사례를 정리하였다. 자원처리공정이나 제련공정에 적합한 인공지능 시스템을 구축하기 위해서는 인공지능을 학습시키기 위한 대량의 데이터를 마련해야 하며, 결국 다양한 센서가 자원처리공정과 제련공정에 설치되는 것이 필요하다고 제안되었다. 한편 국내에서 제조업에 적용되고 있는 스마트팩토리의 사례를 정리하였는데 대부분의 경우 물류시스템 최적화하거나 자동화를 도입하여 투입되는 에너지나 원료를 저감하여 공정의 효율을 향상시키는 방향으로 적용되고 있었다. 따라서 자원처리공정과 제련공정에 적합하며 저가의 센서 개발이 필요하고, 각 단위공정의 최적화를 위한 스마트팩토리 도입이 필요하다고 제안할 수 있다.

사 사

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (20216110100030, 국내부존 레피돌라이트로부터 리튬자원 회수를 위한 선풍/제련 실증기술 개발). 지원해주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

Bini, S.A., 2018. Artificial intelligence, machine learning and cognitive computing : what do these terms mean and how will they impact health care?, *The Journal of Arthroplasty*, 33(8), p.2358-2361.

Cho, M., 2021. A study on the history, classification and development direction of artificial intelligence, *The Journal of the Korea institute of Electronic Communication Sciences*, 16(2), p.307-312.

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. and Yoo, K., 2021. Digital innovation in mining industries, *Journal of the Korean Society of Mineral and*

- Energy Resources Engineers*, 58(1), p.61-65.
- Kim, B., Chae, S., Kim, J., and Yoo, K., 2018. Oversea production status of gold, silver, platinum and palladium from scrap, *The Korean Institute of Resources Recycling*, 27(6), p.76-83.
- 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, 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, J., Kang, B., and Jung, H., 2021a. Determination of coagulant input rate in water purification plant using K-means algorithm and GBR algorithm, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 25(6), p.792-798.
- Kim, Y., Lee, H., and Lee, H., 2021b. *Trade Analysis of Rare Metal Raw Materials*, KIGAM, Daejeon, Korea, 12 p.
- 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, E., Bae, H. Kim, H., Han, H., Lee, Y., and Son, J., 2020. Trends in AI technology for smart manufacturing in the future, *Electronics and Telecommunications Trends*, 35(1), p.60-70.
- 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.
- Ministry of SMEs and Startups, 2021.12.07. <https://www.smart-factory.kr>
- POSCO ICT, 2021.12.07. <https://www.poscoict.com>
- Ribeiro, M. T., Singh, S., and Guestin, C., 2016. "Why should i trust you?": Explaining the predictions of any classifier, Proc. the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining, KIDD, San Francisco, USA, p.1135-1144.
- 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.
- Woo, S. and Cho, Y., 2018. Major technologies and introduction of smart factory, proc the annual spring meeting of the korea institute of information and communication engineering, *The Korea Institute of Information and Communication Engineering*, p.487-490.
- 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

현재 EY한영회계법인 에너지섹터 리더 & 파트너
 한양대학교 공과대학원 에너지자원공학과 겸임교수
 KDI 해외 예비타당성 심의위원회 자문위원
 산업통상자원부 해외자원개발 혁신 2차 TF 자문위원
 국민연금 기금운용본부 대체투자위원회 자문위원
 (本學會誌 第58卷 第1号 參照)



유 경 근

1995년 한양대학교 공과대학 자원공학과
 공학사
 1997년 한양대학교 대학원 자원공학과 공
 학석사
 2003년 Hokkaido University 환경자원공
 학과 공학박사

현재 한국해양대학교 에너지자원공학과 교수
 (E-mail; kyoo@kmou.ac.kr)

안 영 진

2021년 한국해양대학교 해양과학기술대학
 에너지자원공학과 공학사



현재 한국해양대학교 에너지자원공학과 석사과정
 (E-mail; dksdudwls323@g.kmou.ac.kr)