

ORIGINAL ARTICLE

광산 현장의 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델 개발

박세범¹, 최요순^{2*}

¹부경대학교 에너지자원공학과 박사과정, ²부경대학교 에너지자원공학과 교수

Development of Smart Mining Technology Level Diagnostics and Assessment Model for Mining Sites

Sebeom Park¹ and Yosoon Choi^{2*}

¹Ph.D. Student, Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University

²Professor, Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University

*Corresponding author: energy@pknu.ac.kr

Received: January 24, 2022

Revised: February 17, 2022

Accepted: February 21, 2022

ABSTRACT

In this study, we proposed a diagnostics and assessment model for mining sites that can evaluate the smart mining technology level in a systematic and structured way. For this, the maturity of the smart mining was defined, and detailed assessment items of the diagnostics and assessment model for smart mining were derived by considering the smart factory diagnostics and assessment model (KS X 9001-3) used in the manufacturing industry. While maintaining the existing system, the existing 46 detailed assessment items were modified to be suitable for mining. As a result, a total of 29 detailed assessment items were derived in the areas of promotion strategy, process, information system and automation, and performance. Based on this, a questionnaire was designed to diagnose the level of smart mining technology, and assessment was performed by applying it to domestic iron mines. The level of smart mining technology in the study area was found to be level 2, and it could be inferred that it was about 40% lower than the average smart level of the general manufacturing industry. In addition, by using the developed model, it was possible to recognize the weak points of the mine at each stage of the introduction, operation, and advancement of smart mining, and to suggest investment and improvement directions.

Keywords: Smart mining, Technology level, Diagnostics, Assessment, Mining sites

초록

본 연구에서는 스마트 마이닝 기술의 수준을 체계적이고 구조화된 방법으로 평가할 수 있는 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델을 제안하였다. 이를 위해 스마트 마이닝의 성숙도를 정의하였으며, 제조업에서 활용되는 스마트 공장 진단평가 모델(KS X 9001-3)을 참조하여 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델의 세부평가항목 도출하였다. 기존의 체계를 유지하면서 기존 46개의 세부평가항목을 광업에 적합하도록 수정하였으며 추진전략, 프로세스, 정보시스템과 자동화, 성과 부문에서 총 29개의 세부 평가항목을 도출하였다. 이를 토대로 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 설문지를 설계하였고, 국내의 철광산을 연구지역으로 설정한 다음 스마트 마이닝 기술 수준을 평가하였다. 연구지역의 스마트화 수준은 레벨 2로 나타났으며, 일반 제조업의 평균 스마트 수준과 비교했을 때 40% 정도 낮은 수준에 있음을 유추할 수 있었다. 또한, 개발된 모델을 이용하여 스마트 마이닝의 도입, 운영, 고도화의 단계별로 광산의 취약한 부분을 인지하고 투자 및 개선 방향을 제시할 수 있었다.

핵심어: 스마트 마이닝, 기술 수준, 진단, 평가, 광산 현장



1. 서론

2016년 세계경제포럼에서 4차산업혁명이 처음으로 언급되었으며, 이후 전 세계적인 화두가 되면서 스마트 공장이라는 새로운 제조 패러다임이 제시되었다. 현재에는 제조업에서 직면한 인력 감소 및 고령화, 인건비 증가, 고객 요구 다양화 등 사회와 경제적 한계를 극복하기 위한 대안으로서 스마트 공장에 관한 관심이 커지고 있다(Kim et al., 2019). 스마트 공장의 개념은 학계, 산업계 등에서 다양하게 정의하고 있다. 그중에서 스마트제조혁신추진단에서는 스마트 공장은 제품의 기획부터 판매까지 모든 생산과정에 ICT(information and communication technology)를 결합하여 최소비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품의 생산을 지향하는 사람 중심의 첨단 지능형 공장이라고 정의하고 있다. 실제로 제조산업 현장에서는 센서, IoT 등 다양한 ICT를 접목하여 제조공정 프로세스의 정보교환 및 제품 생산, 관리 및 경영 등의 모든 정보를 표준화된 형태로 주고받음으로써 제조공정의 생산성을 향상하였다(So and Shin, 2017, Cho, 2021).

ICT 기반의 스마트 기술이 제조산업에 영향을 미치게 되면서 스마트 공장에 대한 표준 및 인증에 대한 중요성이 강조되고 있다(Woo et al., 2018). 특히, 독일을 비롯해 미국, 일본, 중국 등 각국에서는 이러한 흐름에 맞춰 각자의 프로그램을 시행하고 그것을 국제표준으로 만들기 위한 노력을 하고 있다(Park et al., 2017). 국내에서도 제조와 관련된 가치 사슬 전체의 요소들을 효율화시킬 수 있도록 표준화 작업을 수행하고 있으며, 국가기술표준원을 비롯하여 국제 표준화 기구에 대응하는 전문위원회, 한국스마트제조산업협회 등에서 표준화 활동을 활발히 진행하고 있다(Lee et al., 2019). 특히, 국가기술표준원은 스마트제조와 관련한 전체 표준화 로드맵을 개발하고 표준화 목표 및 추진전략을 수립하고 있다. 또한, 국가 차원의 스마트 공장 개념 정립과 산업계 확산을 위한 국가표준(KS, Korean Industrial Standards) 개발을 지원하고 있으며, 2016년 6월 처음으로 스마트 공장에 대한 국가표준이 제정되었다(Korean Agency for Technology and Standards, 2016a, 2016b, 2016c).

광업 분야에서도 사물인터넷(IoT, internet of things), 빅데이터, 증강현실 등 첨단 ICT를 자원개발 현장에 도입하고 있으며, 스마트 마이닝 기술을 이용하여 광산작업의 효율성을 증대시키기 위한 노력이 전 세계적으로 나타나고 있다(Park and Jung, 2020). 세계경제포럼의 2017년 광산 분야 보고서에서는 스마트 기술 도입에 따라 2016년부터 2025년까지 약 383조 원에 달하는 경제적 가치가 창출될 것이라 전망하였다(Narendran and Weinelt, 2019, Jang, 2019).

최근 국내에서도 스마트 마이닝을 위한 요소 기술의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 일부 광산업체들은 현장에 블루투스 비콘, 지그비와 같은 사물인터넷 기술을 적용한 정보시스템을 부분적으로 구축하였으며, 이를 이용해 광산 현장의 데이터를 실시간으로 수집하고, 수집된 데이터를 이용하여 최적의 장비 배치계획, 생산계획을 수립하고 있다(Jung and Choi, 2017, Park and Choi, 2021a, 2021b). 그러나 세계적인 수준의 광산업체와 비교했을 때 국내 광산의 경우 스마트화 수준이 매우 낮은 상태이다. 따라서 국내 광산 업계의 매출규모와 투자수준을 고려했을 때 완전 자율 형태의 최종적인 스마트 마이닝 현장을 구축하기 위해서는 광산 현장의 스마트화 수준을 제대로 진단하고 평가한 다음 투자의 우선순위를 결정하고 효율적인 투자를 진행할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 광산 현장의 스마트화 수준을 진단하고 평가하는 방법에 대한 국내외 연구사례가 전무한 실정이다.

본 연구에서는 국내 광산의 스마트화 수준을 체계적이고 구조화된 방법을 이용해 진단하고 평가할 수 있는 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델을 개발하고자 한다. 이를 위해 스마트 공장 진단평가모델(KS X 9001-3)의 평가항목들을 검토하고 스마트 마이닝 현장 구축 시 필요할 것으로 판단되는 평가항목들을 도출하였으며, 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가를 위한 설문지를 설계하였다. 또한, 국내에서 가행중인 철광산을 연구지역으로 선정한 다음 개발된 수준 진단평가 모델을 이용하여 광산의 스마트화 수준을 진단하고 평가하였다.

2. 스마트 공장 진단평가 모델

스마트 공장 진단평가 모델은 제조업의 스마트화 수준을 객관적으로 진단하고 평가할 수 있는 도구로서, 2016년 제정된 3건의 국가표준 중 제3부(KS X 9001-3, 운영관리시스템(진단평가모델))에서 관련 내용이 다루지고 있다. KS X 9001-3은 스마트 공장 운영관리시스템에 대한 요구사항에 관해 규정하고 있다.

2.1 스마트 공장 성숙도

스마트 공장 운영관리시스템의 평가 결과는 스마트 공장 성숙도로 나타낼 수 있으며, 운영관리시스템의 스마트화 수준에 따라 점검, 모니터링, 제어, 최적화, 자율운영의 5단계로 구분하여 정의할 수 있다(Table 1). 레벨 1은 점검(checking) 단계로 정의되며 현상 혹은 상태를 단순하게 감지할 수는 있지만, 외부 시스템과 연계되지 않은 상태를 의미한다. 레벨 2는 모니터링(monitoring) 단계로 감지된 결과를 외부 모니터링 시스템에 연결하여 데이터를 언제든지 확인, 추적할 수 있는 단계를 의미한다. 레벨 3은 제어(control) 단계로 정의되며 감지 결과에 대한 정보를 이용하여 시스템의 이상 유무를 분석하고 기능 정상화 상태로 제어할 수 있다. 레벨 4는 최적화(optimization) 단계로 상, 하위 설비 또는 장비 간, 내부 및 외부 시스템 간 상호접속을 통해 시스템 전체 최적화 관점에서 정보가 통합되고 종합적인 제어가 가능한 상태를 의미한다. 레벨 5는 자율운영(autonomy) 단계로 정의할 수 있으며, 자가 진단과 수리의 인공지능과 자율제어가 가능한 수준을 의미한다.

Table 1. Definition and characteristics of each level of smart factory

Level	Definition	Characteristics
1	Checking	Detect status (no linkage with external systems)
2	Monitoring	Present the detection result as data to the external monitoring system
3	Control	Analyze the information on the detection result for abnormalities and control the function to a normal state
4	Optimization	Information integration and comprehensive control from the point of view of overall system optimization through interfacing between facilities and equipment and between internal and external systems
5	Autonomy	Artificial intelligence and autonomous control of self-diagnosis and self-repair

2.2 스마트 공장 진단평가 항목

스마트 공장 운영관리시스템의 구조는 Fig. 1과 같이 비전 및 전략, 목표 및 성과, 기업경영, 제조운영, 기계 및 제어의 5개 계층으로 구성된다. 기업경영의 하위 영역에는 프로세스 관점과 시스템 및 자동화 관점의 구성 요소들이 포함된다. 프로세스 관점의 구성요소에는 제품개발, 생산계획, 공정관리, 품질관리, 설비관리, 물류운영이 포함되며, 시스템 및 자동화 관점의 구성요소로는 정보시스템 모듈과 설비자동화 모듈이 포함된다. 정보시스템 모듈의 경우 제품수명주기관리(PLM, product lifecycle management), 전사적자원관리(ERP, enterprise resource planning), 공급망관리(SCM, supply chain management), 제조실행시스템(MES, manufacturing execution system), 공장에너지관리시스템(FEMS, factory energy management system), 보안 등의 서브 모듈을 포함하고 있다. 스마트 공장 운영관리시스템이 원활하게 운용되기 위해서는 통합 및 연계, 실시간 모니터링, 유연성, 이상대응, 지능화 및 에너지 관리, 기준관리와 같은 핵심기능이 필요하며, 사이버 물리 시스템(CPS, cyber physical systems), 클라우드, 3D 프린팅, 빅데이터, 에너지저장기술, 홀로그래프, 스마트센서, IoT와 같은 기반 기술의 발전과 적용이 필요하다.

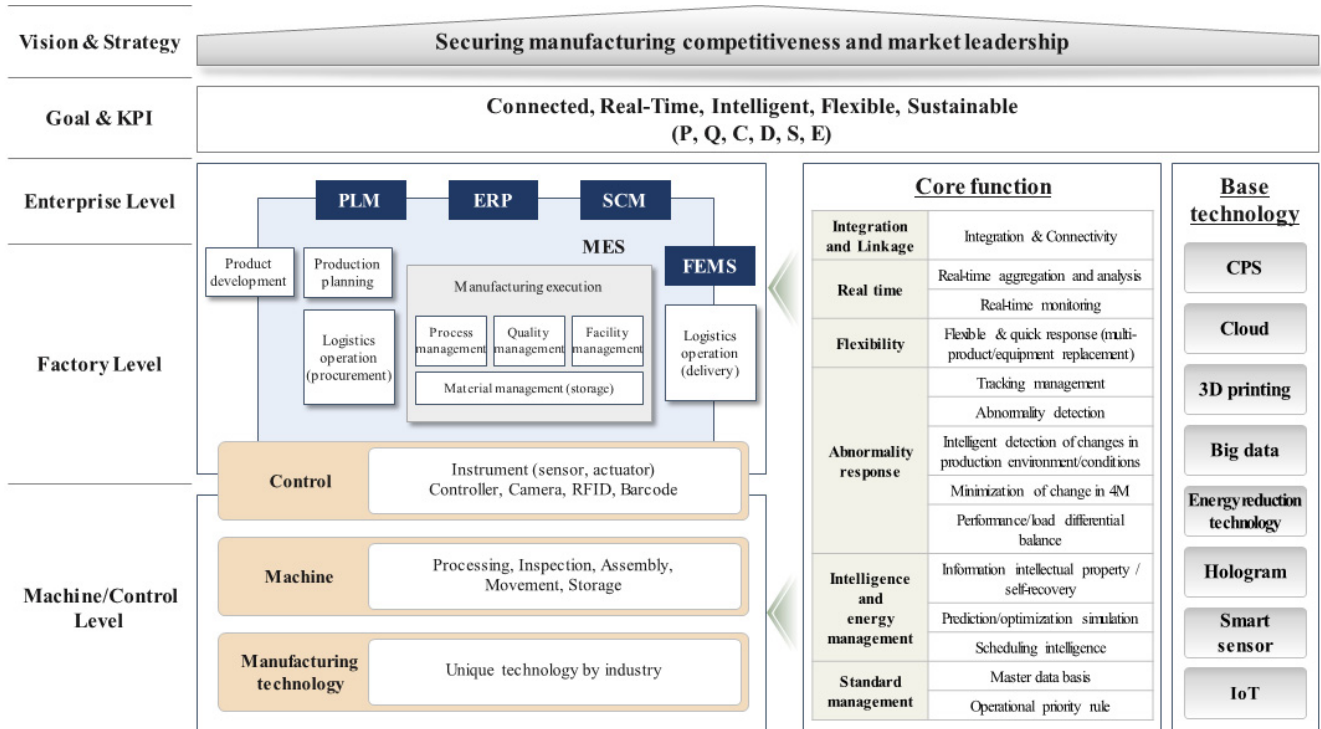


Fig. 1. The operating system framework of a smart factory (modified from Korean Agency for Technology and Standards, 2016c)

스마트 공장 운영관리시스템의 수준을 진단하고 평가하기 위한 구성 요소는 상기 스마트 공장 운영관리시스템 구조를 기반으로 도출되었으며, 4개 부문 10개의 모듈과 44개의 세부평가항목으로 구성되어 있다(Table 2). 추진전략 영역에 포함되는 리더십과 전략 모듈은 스마트 공장 추진을 위한 최고경영자의 리더십과 추진전략, 세부 실행계획, 조직 및 역량관리, 핵심 성과지표(KPI, key performance indicator) 관리에 대한 평가를 수행하며, 4개의 평가영역 중 가장 낮은 배점(100점)이 부여된다.

프로세스 영역은 6개의 모듈이 포함되며, 평가영역 중 두 번째로 높은 배점(총 380점)이 할당된다. 제품개발 평가 모듈은 제품개발 절차, 제품설계 및 검증, 공정설계 및 검증, 기술정보 관리와 같은 항목들을 평가하며, 생산계획 모듈에서는 기준정보 관리, 수요 및 주문대응, 단기 및 중장기 생산계획과 같은 항목을 평가한다. 공정관리 모듈의 경우 작업계획 수립 및 지시, 생산진도 관리, 이상 발생 대응관리를 중점적으로 평가하고, 품질관리 모듈에서는 품질정보 관리, 품질 표준 및 문서 관리, 검사데이터 관리, 검사 및 측정장비 관리에 대한 평가를 수행한다. 설비관리 모듈은 설비가동 관리, 설비보전 관리, 보전자재 관리와 같은 항목들을 평가하며, 물류운영 모듈에서는 구매 및 외주관리, 자재관리, 출하 및 배송관리에 대한 평가를 수행한다.

정보시스템과 자동화 영역은 평가영역 중 가장 높은 배점(400)이 부여되며, 정보시스템과 설비자동화 모듈로 구분하여 평가를 수행한다. 정보시스템 평가모듈에서는 전사적자원관리, 공급망관리, 제조실행시스템, 제품수명주기관리, 공장에너지관리시스템, 보안관리 항목에 대해 평가를 수행하며, 설비자동화 모듈의 경우 생산설비, 물류설비, 검사설비, 설비정보 네트워크, 에너지-안전-환경에 대한 평가를 수행한다. 마지막으로 성과 영역은 120점의 배점이 부여되며, 생산성, 품질, 원가, 납기, 안전, 환경에 대한 평가가 이루어진다.

Table 2. Items of smart factory diagnostics and assessment model (Korean Agency for Technology and Standards, 2016c)

Assessment module	Major assessment contents	Number of assessment items
1. Leadership and strategy	Leadership, operational strategy, organization and competency management	4
2. Product development	Standard procedures, design and verification, product information management	5
3. Product planning	Standard information, sales management, mid/long-term/short-term production plan	4
4. Process management	Work planning, progress management, visual management (VM)	3
5. Quality management	Quality information, quality and inspection management, quality improvement	4
6. Facility management	Facility operation, facility maintenance, material management, OEE management, energy efficiency	4
7. Logistics operation	Inventory management, ordering and delivery management, warehouse management, dispatch management, logistics flow	3
8. Information system	Standard information, planning and performance management, ERP, MES, PLM, APS, CPS, SCM, security	6
9. Facility automation	Production automation, logistics automation, inspection automation, network, energy	5
10. Performance	Productivity, quality, cost, delivery time, safety, environment	6

3. 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델 개발

18세기 말 산업혁명 이후 광물 수요의 급증과 함께 광업 기술에 있어 급속한 진보가 이루어졌으며, 과학적 접근과 기계화가 시작되었다. 현재에는 빠르게 자동화, 디지털화를 광산에 도입함으로써 큰 변화가 일어나고 있다(Hartman and Mutmanský, 2002, Jang, 2019). 국내에서도 스마트 마이닝 기술이 현장에 점차 도입되고 활용됨에 따라 스마트 마이닝에 대한 표준 및 인증에 대한 중요성이 강조되고 있다. 그러나 스마트 마이닝 운영시스템 모델, 관련 기능요소, 데이터 생성 및 교환 모델, 스마트화 수준 진단평가 모델과 같은 표준화에 관한 노력은 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 제조업에서 활용되고 있는 스마트 공장 진단평가모델을 기반으로 스마트 마이닝의 성숙도를 정의하고, 스마트화 수준을 진단하고 평가하기 위한 구성요소 도출과 진단평가 설문지를 설계하였다.

3.1 스마트 마이닝 성숙도 정의

스마트 마이닝의 성숙도는 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델의 종합점수 총 1,000점 만점을 기준으로 Fig. 2와 같이 레벨 0에서 레벨 5까지 총 6단계 수준으로 분류할 수 있다. 레벨 0의 경우 미인식 및 미적용 단계로, 스마트 마이닝 추진에 대한 전략 혹은 계획이 없고 광산 현장 전반에 ICT를 비롯해 정보를 자동으로 수집할 수 있는 기술이 적용되어 있지 않은 상태로 정의할 수 있다. 레벨 1은 식별 및 점검 단계로 정의할 수 있으며, 스마트 마이닝을 구축하기 위한 전략과 계획이 부분적으로 수립되어 있으며, 스마트 기술의 도입을 검토하기 시작하는 단계를 의미한다. 광석 생산 프로세스와 정보시스템은 부분적으로 표준화되어 있다. 또한, 설비 간, 시스템 간 오프라인 네트워킹이 구축되어 있으나 시스템의 관리와 실적 확인은 매우 미흡한 상태이다. 레벨 2는 측정 및 모니터링 단계이며, 스마트 마이닝 구축 전략 및 방향이 전사적으로 수립되어 있으며, 프로세스와 정보시스템이 표준화되어 있는 상태를 의미한다. 설비 간, 시스템 간 온라인 네트워킹이 구축되어 정보수집이 전체적으로 자동화되어 있으며, 스마트 마이닝 운영성과를 주기적으로 관리하고 실적을 확인하는 단계이다. 레벨 3의 경우 분석 및 제어 단계로 스마트 기술 도입에 대한 적극적인 투자와 실

행이 동반되는 단계이며, 모든 프로세스가 정보시스템과 연계되어 관리된다. 정보시스템의 경우 모든 기능을 통합하여 운영하고, 인터넷 네트워킹이 구축되어 모든 설비의 제어를 자동화할 수 있다. 또한, 운영성과에 대해서는 주기적인 관리와 원인 분석이 이루어진다. 레벨 4는 최적화 및 통합 단계로 정의할 수 있고 스마트 마이닝 추진 전략 및 계획, 프로세스 표준에 대해 주기적, 체계적으로 평가하고 개선하는 단계이며, 정보시스템의 경우 전체 기능을 최적의 방법으로 운영할 수 있다. 또한, 설비(장비)를 실시간으로 연계 및 통합하여 관리하고, 상태를 진단하고 개선하기 위한 작업이 이루어진다. 레벨 5는 맞춤 및 자율 단계로 스마트 마이닝의 추진전략 및 계획, 프로세스 표준이 업계 최고 수준을 달성한 상태이며, IoT, IoS (internet of services) 기반의 사이버 물리 시스템이 적용되어 정보시스템이 자율적으로 최적의 운영을 할 수 있는 단계이다. 설비(장비)도 실시간으로 모니터링과 상태 진단이 가능해 자율적으로 운전이 가능한 상태를 의미한다.

The maturity of smart mining (Level 0 to 5)

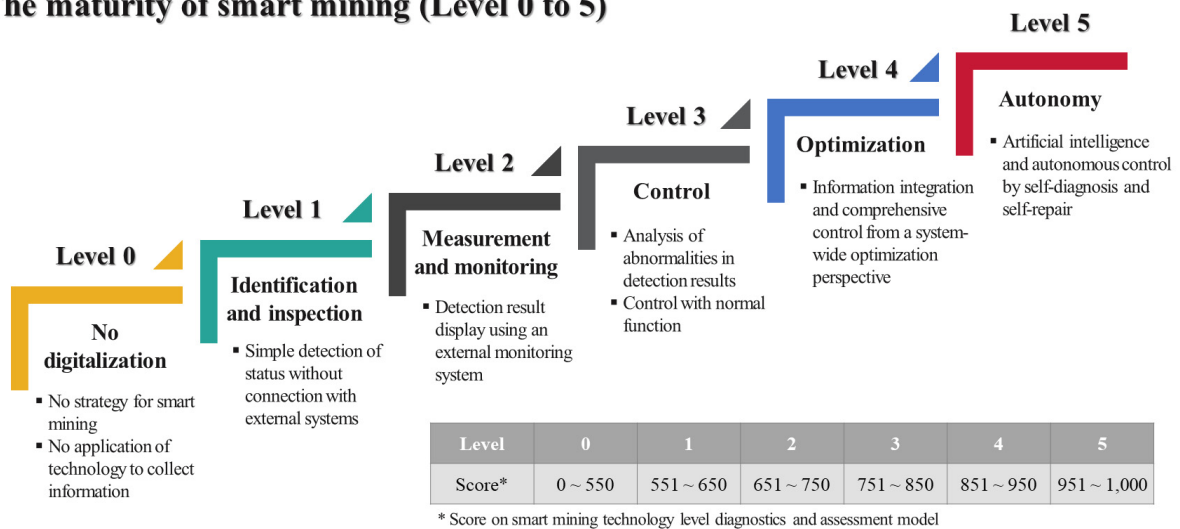


Fig. 2. Levels of the maturity of smart mining

3.2 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 항목 도출

본 연구에서는 광산의 스마트화 수준을 객관적으로 진단 및 평가하기 위해 스마트 공장 진단평가모델의 평가항목들을 검토한 다음 스마트 마이닝 기술 수준 진단을 위한 평가항목을 도출하였다. 제조업은 원재료를 인력이나 장비/설비를 이용하여 가공하고 제품을 대량 생산 및 제공하는 산업으로 제품개발, 생산, 공정관리, 품질관리, 설비관리, 물류운영 등 다양한 프로세스를 거쳐 하나의 제품이 생산된다. 따라서 제조업의 스마트화 수준을 진단하고 평가하는 영역과 항목은 제품을 생산하기 위한 프로세스를 비롯하여 정보시스템 및 자동화, 추진전략 및 성과에 대해 구성되어 있다. 대조적으로 광업은 지하 혹은 지표상에 부존하는 광물을 채굴, 선광, 제련하는 산업이기 때문에 스마트 공장의 진단평가모델을 광산에 그대로 적용하기에 적절하지 않은 항목들이 있다.

본 연구에서는 광산 운영시스템의 특성을 고려하여 광산의 스마트화 수준을 평가하기에 적절하고 필요한 항목들만 도출하였다. 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델도 제조업과 동일하게 추진전략, 프로세스, 정보시스템과 자동화, 성과의 4개 부문에서 스마트화 수준을 평가할 수 있도록 항목을 구성하였다. 스마트 공장 진단평가모델과 가장 큰 차이점은 프로세스 영역의 제품개발 평가모듈이 완전히 배제된 것이다. 또한, 일부 모듈에서 광업에 적절하지 않은 평가항목이 제외되었다. Table 3은 스마트 마이닝 기술

수준 진단평가 모델의 평가항목을 나타내며, 4개 부문 9개의 모듈과 29개의 세부평가항목으로 구성되어 있다. 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 항목별 배점은 총 1,000점 만점을 기준으로 하며, 스마트 마이닝 운영관리시스템에서 차지하는 중요도에 따라 배점을 달리 부여하였다. 광산의 스마트화 수준에 가장 큰 영향을 미치는 정보시스템, 설비(장비) 자동화 부문에 가장 높은 배점(각 180점)을 부여하였으며, 광석 생산 프로세스에서 중요도가 비교적 높은 공정 및 설비관리 부문도 각 120점으로 비교적 높은 배점을 부여하였다. 추진전략 및 성과 부문은 각각 80점, 90점의 배점을 부여하였다.

Table 3. Items of smart mining technology level diagnostics and assessment model

Categories	Assessment modules	Detailed assessment items	Details of the assessment	Score
Promotion strategies	Leadership and strategy	Leadership	Possess and improve understanding, vision, support and drive, communication skills, and leadership capabilities for the implementation of smart mining	20
		Strategies and action plans	Establish and implement smart mining promotion strategies and detailed action plans according to the systematic process	20
		Organization and competency management	Define the organizational system, competency and competency to build a smart mining, and provide appropriate learning and training	20
		Key performance indicator (KPI) management	Manage key performance indicators to measure the overall performance of mines	20
Production planning		Mid/long-term production plan	Establishment of mid/long-term internal production resource utilization plan in consideration of demand and order fluctuations	40
		Short-term production plan	Establishment of short-term production plans based on scheduled and confirmed information of customer orders	40
Process management		Establishment of work plan and instruction	Establish a work plan according to the production plan and instruct work	40
		Production progress management	Manage progress from order receipt to delivery	40
		Abnormal occurrence response management	Development of management standards and response procedures for process abnormalities	40
		Quality (dignity) standards and document management	Prepare and apply quality standard management system and management standards	30
Process	Quality management	Inspection data management	Establishment of a system to monitor ore production and processing processes	30
		Inspection equipment/measurement equipment management	Manage the performance, reliability, and history of inspection equipment and measuring instruments (monitoring equipment)	30
Facility management		Facility operation management	Diagnose the operating status of facilities (crusher, conveyors, fans, etc.) and establish a regular monitoring system	45
		Facility maintenance management	Manage history related to facility efficiency, failures and repairs	45
		Maintenance material management	Systematically manage the management status of equipment maintenance materials (spare parts)	30
Logistics operation		Material (stock) management	Establish procedures and operating standards for warehouse (silos, storage yard) and inventory warehousing, and effectively operate storage methods	30
		Shipping and delivery management	Build a system that manages inventory information according to product shipment and tracks delivery status in real time	30

Table 3. Items of smart mining technology level diagnostics and assessment model (continued)

Categories	Assessment modules	Detailed assessment items	Details of the assessment	Score
Information systems and automation	Information system	Enterprise resource planning (ERP)	Establishment and utilization of ERP system with functions such as business management, production planning and management, material management, shipment and delivery management, etc.	60
		Factory energy management system (FEMS)	Establishment and utilization of integrated energy management system such as energy use and flow data, usage status, and demand and supply optimization	60
		security management	Establishment and utilization of basic functions in the security management area such as the security policy operating system, security functions for each equipment and device, and integrated security management	60
	Facility automation	Production equipment (vehicles)	Promoting automation of production facilities such as unit, unit facility, and process unit automation	60
		Equipment (vehicles) information network	Establishment of facility information network for sharing production information through network between facilities and information system and between facilities	60
		Energy/Safety/Environment management	Promote facility (equipment) and worker safety, environment, and energy management	60
Performance	Performance	Productivity (P)	Select and manage indicators such as labor productivity, facility (equipment) productivity, and production speed	15
		Quality (Q)	Select and manage indicators that can confirm the quality (grade) performance of products (ores)	15
		Cost (C)	Select and manage indicators that can confirm the level of cost indicators of products (ores)	15
		Delivery (D)	Select and manage indicators to check the delivery performance of manufactured products (ores)	15
		Safety (S)	Select and manage indicators that can check the safety level of mines (number of safety accidents, accident rate, etc.)	15
		Environment (E)	Evaluate and manage the level of the mine's environmental indicators (air and water pollution, waste disposal)	15

3.3 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 설문지 설계

스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 설문지의 평가 분야는 추진전략, 프로세스, 정보시스템과 자동화, 성과로 구성되어 있으며, 세부평가항목에 대한 29개 문항으로 구성되어 있다(Fig. 3). 설문지는 광산 현장 관리자 혹은 광산 전반에 이해도가 높은 직원이 작성하도록 설계하였다. 세부평가항목에 대한 각 문항은 6개의 지문(Level 0~5)으로 구성되어 있으며, 광산의 스마트화 수준에 따라 응답할 수 있다. 각 문항에 대해 평가요건 및 관점을 기재해 설문 참여자의 이해도를 높일 수 있도록 구성하였다.

< 설문지: 스마트 마인닝 기술 수준 진단평가 >

0. 개요

본 설문조사는 귀사의 스마트 마인닝 (Smart Mining) 기술 도입 수준 정도를 평가하기 위한 목적으로 만들어졌습니다. 평가분야는 추진전략, 프로세스, 정보시스템과 자동화, 성과로 구성되어 있으며, 총 29개 항목에 대한 질문에 가장 근접하다고 생각하는 **수준 1단계 ~ 5단계**를 해주시면 됩니다. 본 설문지는 KS X 9001-3:2016 (스마트 공작 진단 평가 방법)을 기반으로 만들어졌습니다.

I. 리더십과 전략

Q1. '리더십' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	장동진 주도의 고위, 장영환장, 스마트화에 대한 도전적 기회 탐색 조직이 실행계획 수립과정에서 조직의 주요 부서 및 담당자 참여 중기적인 스마트화 달성 목표와 피드백, 보상 및 인센티브 등 동기유발적 시행
(Lv. 0)	스마트 마인닝 도입을 위한 어떠한 관심 및 노력을 기울이지 않음
(Lv. 1)	스마트 마인닝 도입을 위한 지속적인 관심과 관련한 학습 및 교육에 참여
(Lv. 2)	자사에 맞는 스마트 마인닝 도입을 위한 기회를 지속적으로 탐색하고, 방향성을 제시
(Lv. 3)	스마트 마인닝을 구성하는 요소기술들에 대한 투자와 도입을 적극적으로 시행
(Lv. 4)	자사의 스마트 마인닝 달성정도를 주기적으로 평가하고, 피드백을 통한 보상 및 인센티브 등 동기유발적 시행
(Lv. 5)	스마트 마인닝 구현을 위한 이해와 열정, 명확한 비전, 지원 및 추진력, 의사소통 역량, 동기부여 등의 리더십 역량을 보유

Q2. '전략' 및 추진계획' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	중장기 스마트 마인닝 비전과 전략 및 실행계획의 명확한 연계 전략 및 실행계획 수립과정에서 조직의 주요 부서 및 담당자 참여 자동화, 운영프로세스 혁신과 관련된 중장기 계획 수립 및 이행
(Lv. 0)	스마트 마인닝 도입을 위한 중장기 전략 및 실행계획 수립하지 않음
(Lv. 1)	스마트 마인닝 도입 전략 및 실행계획을 부분적으로 수립하여 이행
(Lv. 2)	조직 및 부서를 설립해 스마트 마인닝 도입 전략 및 실행계획을 전사적으로 수립하고 이행
(Lv. 3)	전사적으로 수립된 스마트 마인닝 도입전략 및 실행계획을 정보시스템과 연계하여 관리
(Lv. 4)	스마트 마인닝 도입 전략 및 실행계획을 주기적, 체계적으로 평가하고, 피드백을 통한 개선을 수행
(Lv. 5)	정보시스템을 이용하여 체계화된 프로세스에 따라 스마트 마인닝 도입전략 및 세부 실행계획을 수립하고 이행

Q3. '조직 및 역량관리' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	직무 정의 및 역량모델링, 역량 프로파일링 등의 역량 및 적성 평가, 평가결과에 따른 구성원 역량 향상 및 교육 계획 수립 현장직원의 스마트기술 활용수월 향상, 다기능화 계획, 훈련계획 및 이행관리
(Lv. 0)	스마트 마인닝과 관련한 어떠한 교육 및 역량향상을 위한 노력을 하지 않음
(Lv. 1)	스마트 마인닝 도입과 관련한 간단한 교육을 시행(한정하여) 일부 교육 훈련에 참여
(Lv. 2)	스마트 마인닝 도입과 관련한 전문교육을 운영하여서 구성원들의 역량을 관리
(Lv. 3)	정보시스템과 연계하여 스마트 마인닝 관련한 적절한 학습과 교육 훈련을 제공
(Lv. 4)	스마트 마인닝 관련 교육 훈련을 제공하는 한 주기적/체계적으로 평가하고 피드백을 통한 개선을 수행
(Lv. 5)	조직은 스마트 마인닝 추진을 위한 조직체계의 구성원 역량과 적성을 규정하고, 이를 위한 적절한 학습과 교육훈련을 구성원에게 제공

8페이지 중 1페이지

Q4. '성과지표(KPI) 관리' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	광산운영의 프로세스 파악 및 프로세스별 성과지표 관리 연도별 성과지표 달성도를 평가하는 지표 선정 및 관리 경영자 또는 관리자가 적시에 지표정보를 검토 및 적절한 대응
(Lv. 0)	광산의 운영성과를 측정하기 위한 성과지표를 관리하지 않음
(Lv. 1)	광산 운영의 프로세스를 파악하고 있으며, 프로세스별 성과지표를 부분적으로 표준화하여 관리
(Lv. 2)	광산 운영의 전체 프로세스에 대한 성과지표를 전사적으로 표준화하여 관리
(Lv. 3)	광산 운영의 성과를 측정하기 위한 성과지표를 정보시스템과 연계하여 체계적으로 관리
(Lv. 4)	광산 운영의 성과를 측정하기 위한 성과지표를 정보시스템과 연계하여 관리하고, 성과지표를 주기적/체계적으로 평가하여 개선을 수행
(Lv. 5)	조직은 광산의 종합적인 성과를 측정하기 위한 핵심 성과지표를 정보시스템을 이용해 체계적으로 관리하고 성과개선과 생산성 향상의 기초로 전환하기 위해 노력하며, 지표상태에 따라 적절한 대응을 수행

II. 생산계획

Q5. '중장기 생산계획' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	중장기 생산계획 수립 절차 및 문서화된 표준 프로세스 수요예측 및 판매계획에 기반한 생산능력계획 수립 수요변동을 감안하여 중장기적인 내부 생산자원 활용계획 수립
(Lv. 0)	중장기 생산계획을 수립하지 않거나, 중장기 생산계획 수립 절차가 표준화되어 있지 않음
(Lv. 1)	중장기 생산계획 수립을 위한 절차가 부분적으로 표준화 되어 있음
(Lv. 2)	수요예측 및 판매계획에 기반하여 중장기 생산계획을 수립하고 있으며, 생산계획 수립 절차를 전사적으로 표준화하여 관리
(Lv. 3)	중장기 생산계획 수립 절차가 전사적으로 표준화되어 있으며, 정보시스템과 연계하여 체계적으로 관리
(Lv. 4)	중장기 생산계획 수립 절차가 정보시스템과 연계되어 있으며, 수요변동을 감안하여 최적의 중장기 생산계획을 주기적/체계적으로 평가 및 수정
(Lv. 5)	중장기 생산계획을 정보시스템과 연계하여 체계적으로 관리하고 있으며, 수요변동을 감안하여 중장기적인 생산자원 활용계획을 수립하고, 3개월 이상의 중장기 생산능력계획과 회사 사업계획과의 연계성을 확보

Q6. '단기 생산일정계획' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	고객들의 계약일정에 최대한반응을 바탕으로 단기적인 생산계획 수립 절차 및 문서화된 표준 프로세스 주간 및 일 단위의 주기별 수량 설정 및 관리 생산일정 정보의 내부 및 외부 공유수준과 방식의 신속성, 적절성 확보
(Lv. 0)	단기 생산계획을 수립하지 않거나, 단기 생산계획 수립 절차가 표준화되어 있지 않음
(Lv. 1)	단기 생산계획 수립을 위한 절차가 부분적으로 표준화 되어 있음
(Lv. 2)	수요예측 및 판매계획에 기반하여 단기 생산계획을 수립하고 있으며, 생산계획 수립 절차가 전사적으로 표준화하여 관리
(Lv. 3)	단기 생산계획 수립 절차가 전사적으로 표준화되어 있으며, 정보시스템과 연계하여 체계적으로 관리
(Lv. 4)	단기 생산계획 수립 절차가 정보시스템과 연계되어 있으며, 수요변동을 감안하여 단기 생산계획을 주기적/체계적으로 평가 및 수정
(Lv. 5)	단기 생산계획을 정보시스템과 연계하여 체계적으로 관리하고 있으며, 시스템을 이용해 수요변동을 감안한 단기적인 생산계획을 수립하여 자원을 운영이 가능

8페이지 중 2페이지

III. 운영관리

Q7. '적용계획 수립 및 지식' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	장비 및 설비의 실 능력, 자체 제조, 투입인력 등 4MTE 현황정보를 기반한 계획 관리 * 4MTE: Man, Machine, Material, Method, Environment & Energy
(Lv. 0)	적용계획 수립 및 지식이 경험(노하우)에 근거하여 이루어지고 있으며, 적용계획 수립 절차가 표준화되어 있지 않음
(Lv. 1)	적용계획 수립 및 지식을 위한 절차가 부분적으로 표준화 되어 있음
(Lv. 2)	적용계획 수립 및 지식 절차가 전사적으로 표준화되어 있으며, 표준화된 절차를 바탕으로 작업계획 수립하고 지식
(Lv. 3)	정보시스템을 이용하여 장비 및 설비의 실 능력, 투입 인력, 단기 생산계획 등을 고려한 분석을 수행한 다음 적용계획을 수립
(Lv. 4)	정보시스템을 이용하여 장비 및 설비의 실 능력, 투입 인력, 단기 생산계획 등을 고려한 분석을 수행한 다음 적용계획을 수립하고, 주기적/체계적으로 적용계획을 평가하고 수정
(Lv. 5)	정보시스템을 이용하여 장비 및 설비의 실 능력, 투입 인력, 단기 생산계획 등을 고려한 분석을 수행한 다음 적용계획을 수립하고, 작업을 실시간으로 모니터링하면서 주기적/체계적인 관리를 수행해 자원을 운영이 가능

Q8. '생산진도 관리' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	일일 작업계획에 따른 생산 진척 단계 정의 생산 진척 단계별 실시간 현황 관리 및 정보 제공
(Lv. 0)	현장 관리직원의 주기적인 순찰을 통해 생산진도를 관리
(Lv. 1)	생산진도를 파악하기 위한 ICT 기기가 일부 장비 및 설비에 시범적으로 설치되어 있음
(Lv. 2)	생산진도를 파악하기 위한 ICT 기기가 주요 장비 및 설비에 설치되어 있으나 생산진도 관리를 위해 활용하지 못함
(Lv. 3)	ICT 기기를 이용한 정보시스템을 구축하여 생산진도를 체계적으로 파악 및 분석하고, 주기적/체계적인 피드백을 통해 생산진도를 관리
(Lv. 4)	ICT 기기를 이용하여 장비별/설비별/작업장별 생산진도를 실시간으로 모니터링할 수 있는 정보시스템이 구축되어 있으며, 모니터링 및 분석결과에 대한 즉각적인 피드백으로 생산진도를 효율적/체계적/실시간으로 관리

Q9. '의상발생 대응관리' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	주요 관리지표별 이상 발생 항목과 빈도에 대한 기준 관리 이상 발생에서부터 대응조치 완료까지의 소요시간 관리 및 소요시간 최소화 진행 이상 이의에 대한 적절한 대응 방지 대책을 수립 및 시행
(Lv. 0)	현장에서 발생할 수 있는 이상(사고)에 대한 대응 관리기준 및 대응 절차가 없음
(Lv. 1)	이상(사고)에 대한 대응 관리기준 및 대응 절차가 부분적으로 표준화하여 관리
(Lv. 2)	이상(사고)에 대한 대응 관리기준 및 대응 절차가 전사적으로 표준화하여 관리
(Lv. 3)	전사적으로 표준화된 이상(사고)에 대한 대응 관리기준 및 대응 절차를 정보시스템을 이용하여 체계적으로 관리
(Lv. 4)	정보시스템을 이용해 이상발생에 대한 대응 관리를 하고, 주기적/체계적으로 평가 및 개선하여 이상발생 예방할 수 있음
(Lv. 5)	현장에서 발생할 수 있는 모든 이상(사고) 발생에 대한 대응 관리기준과 대응 절차가 개발되어 있으며, 정보시스템을 이용한 체계적인 관리를 이용하여 적절한 대응 방지 대책을 수립하고 시행

8페이지 중 3페이지

IV. 품질(품질)관리

Q10. '품질(품질)관리/문서관리' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	품질 품질(품질) 관리 체계와 관리규정을 작성 정보시스템을 통한 품질(품질) 표준 변경의 이력관리
(Lv. 0)	품질(품질) 점검 체크리스트, 품질(품질) 표준 등을 수기로 관리
(Lv. 1)	수기로 작성된 품질(품질) 점검 체크리스트, 품질(품질) 표준 등을 부분적으로 디지털화 하여 관리
(Lv. 2)	수기로 작성된 모든 품질(품질) 점검 체크리스트, 품질(품질) 표준 등을 디지털화 하여 관리
(Lv. 3)	모든 품질(품질) 점검 체크리스트, 품질(품질) 표준 등을 정보시스템과 연계하여 사람이 직접 주기적/체계적 평가를 수행
(Lv. 4)	모든 품질(품질) 점검 체크리스트, 품질(품질) 표준 등을 정보시스템과 연계하여 사람이 직접 주기적/체계적 평가를 수행
(Lv. 5)	모든 품질(품질) 점검 체크리스트, 품질(품질) 표준 등을 정보시스템과 연계하여 시스템이 자동으로 주기적/체계적 평가를 수행

Q11. '검사데이터 관리' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	품질(품질) 검사 데이터 등을 수기로 관리 검사 모방할 수 있는 데이터 생성 데이터 입수에 따른 실시간 자동분석과 분석결과 제공
(Lv. 0)	품질(품질) 검사 데이터 등을 수기로 관리
(Lv. 1)	수기로 작성된 품질(품질) 검사 데이터 등을 부분적으로 디지털화 하여 관리
(Lv. 2)	품질(품질) 검사 데이터 등을 정보시스템과 연계하여 관리
(Lv. 3)	품질(품질) 검사 데이터 등을 정보시스템과 연계하여 사람이 직접 주기적/체계적 평가를 수행
(Lv. 4)	품질(품질) 검사 데이터 등을 정보시스템과 연계하여 시스템이 자동으로 주기적/체계적 평가를 수행
(Lv. 5)	품질(품질) 검사 데이터 등을 정보시스템과 연계하여 시스템이 자동으로 주기적/체계적 평가를 수행

Q12. '검사기록/추진관리' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	주기적인 검사장비 및 측정기의 신뢰성과 성능 관리 측정기 또는 검사인력에 대한 자재관리 검사장비 및 인력 관리체계와 시스템적인 이력 관리
(Lv. 0)	검사장비 및 측정기의 성능 등 이력을 관리하지 않음
(Lv. 1)	검사 장비 및 측정기의 성능을 관리하는 인력이 있으며, 성능 데이터를 부분적으로 디지털화 하여 관리
(Lv. 2)	검사 장비 및 측정기의 성능을 관리하는 인력이 있으며, 성능 데이터를 디지털화 하여 관리
(Lv. 3)	검사 장비 및 측정기의 성능을 관리하는 인력이 있으며, 성능 데이터를 정보시스템과 연계하여 관리
(Lv. 4)	검사 장비 및 측정기의 성능을 관리하는 인력이 있으며, 성능 데이터를 정보시스템과 연계하여 사람이 직접 주기적/체계적 평가를 수행
(Lv. 5)	검사 장비 및 측정기의 성능을 관리하는 인력이 있으며, 성능 데이터를 정보시스템과 연계하여 시스템이 자동으로 주기적/체계적 평가를 수행

V. 설비 및 장비

Q13. '설비 및 장비의 가동 관리' 분야에서 귀사 현황의 수준은 무엇인가요?

평가 관점	정보시스템을 통한 설비 및 장비 가동의 이력관리 설비 및 장비의 이상 및 위험수준에 대한 자동 알람 시스템 구축 및 활용 설비 및 장비의 가동상태를 진단하고 실시간 모니터링 체계 구축
(Lv. 0)	설비 및 장비의 가동 관리를 위해 ICT 기술을 적용하지 않음
(Lv. 1)	ICT 기술을 설비 및 장비에 적용하여 가동 데이터를 수집
(Lv. 2)	ICT 기술을 설비 및 장비에 적용하여 가동 데이터를 수집하여 주기적으로 분석을 수행
(Lv. 3)	설비 및 장비의 가동을 실시간으로 모니터링할 수 있도록 정보시스템과 연계하여 있으며, 가동상태에 대한 데이터를 수집하여 주기적/체계적으로 분석을 수행
(Lv. 4)	설비 및 장비의 가동을 실시간으로 모니터링하며, 수집된 가동데이터를 정보시스템과 연계하여, 사람이 직접 수집되는 데이터를 이용해 가동상태를 진단하고 개선하기위한 작업을 수행
(Lv. 5)	설비 및 장비의 가동을 실시간으로 모니터링하며, 수집된 가동데이터를 정보시스템과 연계하여, 시스템은 수집되는 데이터를 이용해 가동상태를 자동으로 진단하고 개선하기위한 작업을 자동적으로 수행

8페이지 중 4페이지

Fig. 3. Sheets of a questionnaire for level diagnosis and assessment of smart mining

Q14. '설비 및 장비의 보전 관리' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
설비 및 장비의 효율을 자동 분석 및 예측관리
정보시스템을 활용한 고장, 부품 및 수리와의 연관된 이력 관리
설비 및 장비 상태에 대한 모바일 모니터링 및 원격관리

(Lv. 0) 설비 및 장비의 보전 관리를 위해 ICT 기술을 적용하지 않음
(Lv. 1) ICT 기술을 설비 및 장비에 적용하여 고장 혹은 수리 이력 데이터를 수집
(Lv. 2) ICT 기술을 설비 및 장비에 적용하여 고장 혹은 수리 이력 데이터를 수집하여 주기적으로 분석 수행
(Lv. 3) 설비 및 장비의 효율을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 정보시스템과 연계하여 있으며, 상태에 대한 데이터를 수집하여 주기적/체계적으로 분석 수행
(Lv. 4) 설비 및 장비의 효율을 실시간으로 모니터링하며, 수집된 고장 혹은 수리 이력 데이터를 정보시스템과 연계할 사람이 직접 수집되는 데이터를 이용해 상태를 진단하고 개선하기위한 작업을 수행
(Lv. 5) 설비 및 장비의 효율을 실시간으로 모니터링하며, 수집된 고장 혹은 수리 이력 데이터를 정보시스템과 연계할 시스템은 수집되는 데이터를 이용해 상태를 자동으로 진단하고 개선하기위한 작업을 자동으로 수행

Q15. '보전자재 관리' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
보전자재 관리 상태의 주기적인 실행 확인
예비부품(spares parts) 관리상태의 주기적인 실행 확인
보전자재 및 예비부품에 대한 정보시스템 활용

(Lv. 0) 보전자재 및 예비부품의 관리 상태에 대한 체크리스트를 수기로 관리 및 분석
(Lv. 1) 수기로 작성된 체크리스트를 부분적으로 디지털화하여 관리
(Lv. 2) 수기로 작성된 체크리스트를 디지털화하여 관리
(Lv. 3) 보전자재 및 예비부품의 관리 데이터를 정보시스템과 연계하여 관리
(Lv. 4) 보전자재 및 예비부품의 관리 데이터를 정보시스템과 연계하여 사람이 직접 주기적/체계적 평가를 수행
(Lv. 5) 보전자재 및 예비부품의 관리 데이터를 정보시스템과 연계하여 실시간으로 모니터링이 가능하며, 시스템이 자율적으로 주기적/체계적 평가를 수행

VI. 물류운영

Q16. '재고 관리' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
재용(공차) 입고와 관리에 실시간 정보처리를 위한 정보기술 활용
재용(공차) 입고와 정보가 실시간으로 ERP에 업로드
신속한 재고 파악을 위한 휴대용 단말기 또는 모바일 기기 활용

(Lv. 0) 재용(공차) 입고와 관리 데이터를 수기로 관리
(Lv. 1) 수기로 작성된 재용(공차) 입고와 관리 데이터를 부분적으로 디지털화하여 관리
(Lv. 2) 수기로 작성된 재용(공차) 입고와 관리 데이터를 디지털화하여 관리
(Lv. 3) 재용(공차) 입고와 관리 데이터를 정보시스템(ERP)과 연계하여 실시간으로 모니터링 가능
(Lv. 4) 재용(공차) 입고와 관리 데이터를 정보시스템(ERP)과 연계하여 실시간으로 모니터링이 가능하며, 사람이 직접 주기적/체계적 평가를 수행
(Lv. 5) 재용(공차) 입고와 관리 데이터를 정보시스템(ERP)과 연계하여 실시간으로 모니터링이 가능하며, 시스템이 자율적으로 주기적/체계적 평가를 수행

Q17. '출하 및 배송관리' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
운송이력관리의 시스템화 필요성
수배송차량의 실시간 위치추적 가능성
배송정보의 실시간 공유

(Lv. 0) 운송이력관리의 시스템을 수기로 관리
(Lv. 1) 수기로 작성된 운송이력관리 데이터를 부분적으로 디지털화 하여 관리
(Lv. 2) 수기로 작성된 운송이력관리 데이터를 모두 디지털화하여 관리
(Lv. 3) 운송이력관리 데이터를 정보시스템과 연계하여 출하 및 배송정보의 실시간 모니터링 가능
(Lv. 4) 운송이력관리 데이터를 정보시스템과 연계하여 출하 및 배송정보의 실시간 모니터링이 가능하며, 사람이 직접 운송이력을 주기적/체계적으로 평가를 수행
(Lv. 5) 운송이력관리 데이터를 정보시스템과 연계하여 출하 및 배송정보의 실시간 모니터링이 가능하며, 시스템이 자율적으로 운송이력을 주기적/체계적으로 평가를 수행

8페이지 중 5페이지

VII. 정보시스템

Q18. '전자자료관리(ERP)' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
경영관리, 회계, 인사, 영업, 경영지원 등
생산성 및 관리: 생산계획, 생산실적 관리
재고관리, 입고, 재고보유, 보관관리 등
품질 및 안전관리

(Lv. 0) 전자적 자료관리 분야에 ICT 기술을 적용하지 않음
(Lv. 1) 부분적으로 ERP를 사용하여 ICT 기술을 적용하여 정보시스템 구축
(Lv. 2) 자원관리 분야의 모든 프로세스에 ICT 기술을 적용한 정보시스템 구축
(Lv. 3) 자원관리 분야의 모든 프로세스에 ICT 기술을 적용한 정보시스템 구축하여 통합 운영
(Lv. 4) 자원관리 분야의 모든 프로세스에 ICT 기술을 적용한 정보시스템 구축하여 운영하며, 수집된 데이터를 활용하여 부분적 의사결정 및 최적화를 수행
(Lv. 5) 자원관리 분야의 모든 프로세스에 ICT 기술을 적용한 정보시스템 구축하여 운영하며, 인터넷을 통한 사내외 네트워크(CPS/cyber physical system) 네트워크를 이용한 협업이 가능

Q19. '공정데이터관리시스템(EMS)' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
에너지 사용 및 효율 데이터 관리
에너지 사용현황 및 수요관리 최적화 관리
에너지 통합관리시스템

(Lv. 0) 공정데이터관리시스템에 ICT 기술을 적용하지 않음
(Lv. 1) 부분적으로 ICT 기술을 적용하여 에너지 사용 및 효율 데이터 수집
(Lv. 2) ICT 기술을 전체적으로 적용하여 에너지관리시스템을 구축
(Lv. 3) ICT 기술을 전체적으로 적용하여 에너지관리시스템을 구축하여 통합 운영
(Lv. 4) ICT 기술을 전체적으로 적용하여 에너지관리시스템을 구축하여 운영하며, 수집된 데이터를 활용하여 부분적 의사결정 및 최적화를 수행
(Lv. 5) ICT 기술을 전체적으로 적용하여 에너지관리시스템을 구축하여 운영하며, IoT/IT 기반의 CPS(cyber physical system)를 통해 자율 최적운영이 가능

Q20. '보안관리' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
보안정책 운영체계
설비 및 장비별 보안기능
보안설비의 자가 진단, 분석, 대응

(Lv. 0) 보안관리에 ICT 기술을 적용하지 않음
(Lv. 1) 부분적으로 ICT 기술을 적용하여 설비 및 장비의 보안 관리 데이터 수집
(Lv. 2) ICT 기술을 전체적으로 적용하여 보안관리시스템을 구축
(Lv. 3) ICT 기술을 전체적으로 적용하여 보안관리시스템을 구축하여 통합 운영
(Lv. 4) ICT 기술을 전체적으로 적용하여 보안관리시스템을 구축하여 운영하며, 수집된 데이터를 활용하여 부분적 의사결정 및 최적화를 수행
(Lv. 5) ICT 기술을 전체적으로 적용하여 보안관리시스템을 구축하여 운영하며, IoT/IT 기반의 CPS(cyber physical system)를 통해 자율 최적운영이 가능

VIII. 설비 및 장비 자동화

Q21. '생산 설비 및 장비' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
유도, 단회절 및 절단, 공정 단회 자동화
작업자 수동제어, 제어기를 사용한 자동제어, 인공지능 제어기 등 생산설비 제어
설비 및 장비의 현재 상태에 대한 자가진단 기능과 정보표시 기능 보유

(Lv. 0) 생산 설비 및 장비에 대한 정보수집 자동화를 적용하지 않음
(Lv. 1) AI, IoT, 로봇 등 산기업을 생산설비 및 장비에 적용하였으며, 정보 수집이 부분적으로 자동화
(Lv. 2) AI, IoT, 로봇 등 산기업을 생산설비 및 장비에 적용하였으며, 정보 수집을 완전 자동화
(Lv. 3) AI, IoT, 로봇 등 산기업을 생산설비 및 장비에 적용하였으며, 수집되는 데이터를 바탕으로 설비 및 장비의 제어와 자동으로 이루어짐
(Lv. 4) AI, IoT, 로봇 등 산기업을 생산설비 및 장비에 적용하였으며, 수집되는 데이터를 바탕으로 설비 및 장비의 제어와 분석이 자동으로 이루어짐
(Lv. 5) AI, IoT, 로봇 등 산기업을 생산설비 및 장비에 적용하여 모든 생산 설비 및 장비의 운영을 자동화하였으며, 수집되는 정보를 바탕으로 설비 및 장비의 제어와 분석이 자동으로 이루어짐

8페이지 중 6페이지

Q22. '설비 및 장비 정보 네트워크' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
연결(connectivity) 및 접속(interfacing) 데이터 정보통신 대응 소프트웨어 대응 및 온라인 관리
설비 및 장비와 정보시스템 간 네트워크, 장비간 네트워크
IoT 등 장비부, 정보시스템과 연계

(Lv. 0) 설비 및 장비 정보 수집에 대한 네트워크를 적용하지 않음
(Lv. 1) 현장의 설비 및 장비에 IoT 기기를 설치하였으며, 시스템간/설비간/장비간 네트워크 없이 오프라인 네트워크를 구축
(Lv. 2) 현장의 설비 및 장비에 IoT 기기를 설치하였으며, 정보시스템과 연계해 설비간/장비간 온라인 네트워크를 구축
(Lv. 3) 현장의 설비 및 장비에 IoT 기기를 설치하였으며, 정보시스템과 연계해 설비간/장비간 인터넷 네트워크를 구축
(Lv. 4) 현장의 설비 및 장비에 IoT 기기를 설치하였으며, 정보시스템과 연계해 설비간/장비간 네트워크를 구축 하고 있으며, 실시간 연계 및 통합으로 전체 설비 및 장비에 최적화
(Lv. 5) 현장의 설비 및 장비에 IoT 기기를 설치하였으며, 정보시스템과 연계해 설비간/장비간 네트워크를 구축 하고 있으며, 실시간 연계 및 통합으로 설비 및 장비 정보 네트워크의 운영 자동화

Q23. '에너지/안전/환경 관리' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
에너지 사용에 대한 관리 및 효율 향상 수준
작업장의 작업 안전 및 작업자의 안전 고려
환경오염 발생 및 오염원에 대한 대응

(Lv. 0) 에너지/안전/환경 관리와 관련한 어떠한 이력도 하지 않음
(Lv. 1) 에너지/안전/환경관리체계, 점검 체크리스트, 점검 결과 등 사람이 수기로 작성하여 관리
(Lv. 2) 시스템 혹은 특정장비를 이용하여 에너지/안전/환경과 관련한 데이터를 수집하여 관리
(Lv. 3) 시스템 혹은 특정장비를 이용하여 에너지/안전/환경을 실시간으로 모니터링할 수 있으며, 수집된 데이터를 이용하여 사람이 분석 및 예측
(Lv. 4) 시스템 혹은 특정장비를 이용하여 에너지/안전/환경을 실시간으로 모니터링할 수 있으며, 수집된 데이터를 이용하여 사람이 분석 및 예측해 주기적/체계적으로 최적화를 수행
(Lv. 5) 시스템 혹은 특정장비를 이용하여 에너지/안전/환경을 실시간으로 모니터링할 수 있으며, 자동화된 시스템에 의해 수집된 데이터의 분석, 예측, 최적화 수행

IX. 성과

Q24. '생산성' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
생산성 지표에 대한 수준 평가
노동생산성, 설비생산성, 장비생산성, 생산속도 등 핵심지표의 실적 및 근거 데이터를 기준으로 평가

(Lv. 0) 생산성분야의 핵심지표를 집계하여 관리하지 않음
(Lv. 1) 생산성분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 관리하고 있으나 실적 확인은 미흡
(Lv. 2) 생산성분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 주기적으로 실적 확인
(Lv. 3) 생산성분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여, 체계적으로 원안분석을 수행하고 대책을 수립
(Lv. 4) 생산성분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 원안분석과 대책을 수립
(Lv. 5) 생산성분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 자동으로 대응 가능

Q25. '품질' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
품질(공차) 지표에 대한 수준 평가
품질(공차) 분야의 규정성, 원수율, 폐기율 등 핵심지표의 실적 및 근거 데이터를 기준으로 평가

(Lv. 0) 품질(공차) 분야의 핵심지표를 집계하여 관리하지 않음
(Lv. 1) 품질(공차) 분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 관리하고 있으나 실적 확인은 미흡
(Lv. 2) 품질(공차) 분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 주기적으로 실적 확인
(Lv. 3) 품질(공차) 분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여, 체계적으로 원안분석을 수행하고 대책을 수립
(Lv. 4) 품질(공차) 분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 원안분석과 대책을 수립
(Lv. 5) 품질(공차) 분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 자동으로 대응 가능

8페이지 중 7페이지

Q26. '원가' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
원가 지표에 대한 수준 평가
설비 및 장비 가동비용, 선공비용 등 핵심지표의 실적 및 근거 데이터를 기준으로 평가

(Lv. 0) 원가분야의 핵심지표를 집계하여 관리하지 않음
(Lv. 1) 원가분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 관리하고 있으나 실적 확인은 미흡
(Lv. 2) 원가분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 주기적으로 실적 확인
(Lv. 3) 원가분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여, 체계적으로 원안분석을 수행하고 대책을 수립
(Lv. 4) 원가분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 원안분석과 대책을 수립
(Lv. 5) 원가분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 자동으로 대응 가능

Q27. '납기' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
납기 지표에 대한 수준 평가
납기 준수율, 재고 정확도 등 핵심지표의 실적 및 근거 데이터를 기준으로 평가

(Lv. 0) 납기분야의 핵심지표를 집계하여 관리하지 않음
(Lv. 1) 납기분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 관리하고 있으나 실적 확인은 미흡
(Lv. 2) 납기분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 주기적으로 실적 확인
(Lv. 3) 납기분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여, 체계적으로 원안분석을 수행하고 대책을 수립
(Lv. 4) 납기분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 원안분석과 대책을 수립
(Lv. 5) 납기분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 자동으로 대응 가능

Q28. '안전' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
안전 지표에 대한 수준 평가
안전사고건수, 3차, 4차 등 핵심지표의 실적 및 근거 데이터를 기준으로 평가

(Lv. 0) 안전분야의 핵심지표를 집계하여 관리하지 않음
(Lv. 1) 안전분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 관리하고 있으나 실적 확인은 미흡
(Lv. 2) 안전분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 주기적으로 실적 확인
(Lv. 3) 안전분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여, 체계적으로 원안분석을 수행하고 대책을 수립
(Lv. 4) 안전분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 원안분석과 대책을 수립
(Lv. 5) 안전분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 자동으로 대응 가능

Q29. '환경' 분야에서 귀사 현장의 수준은 무엇인가?

평가
관리
환경 지표에 대한 수준 평가
대기질(먼지), 공기 중 관리, 물과 습기 제어, 유수 등의 오염도, 폐기 처리량, 지표 제하(침하) 및 붕괴 방지 등 핵심지표의 실적 및 근거 데이터를 기준으로 평가

(Lv. 0) 환경분야의 핵심지표를 집계하여 관리하지 않음
(Lv. 1) 환경분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 관리하고 있으나 실적 확인은 미흡
(Lv. 2) 환경분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 주기적으로 실적 확인
(Lv. 3) 환경분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여, 체계적으로 원안분석을 수행하고 대책을 수립
(Lv. 4) 환경분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 원안분석과 대책을 수립
(Lv. 5) 환경분야의 핵심지표를 정보시스템을 통해 실시간으로 집계하고, 자동으로 대응 가능

8페이지 중 8페이지

Fig. 3. Sheets of a questionnaire for level diagnosis and assessment of smart mining (continued)

3.4 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 방법

스마트 마이닝 기술 수준 진단평가를 수행하면 광산 현장의 스마트화 수준을 비롯하여 평가 모듈(9개)별 스마트화 수준을 결정할 수 있다. 평가 모듈별 스마트화 수준은 레벨 0에서 5까지 총 6개 등급으로 분류할 수 있으며, 설문지 응답 결과를 이용하여 2단계의 절차를 통해 결정할 수 있다. 먼저, (1) 각 평가 모듈에 포함되는 세부평가항목들의 응답 결과(레벨 0~5)의 평균을 계산한다. 다음으로 (2) Table 4의 설문지 응답 결과에 따른 스마트화 수준 구간을 참고하여 평가 모듈의 스마트화 수준을 결정한다. 예를 들어 리더십과 전략 모듈에 포함되는 세부평가항목의 평균이 1이라고 가정하면, 해당 모듈의 스마트화 수준은 레벨 1로 결정할 수 있다.

Table 4. Technology level of assessment module according to questionnaire response results

Level	0	1	2	3	4	5
Scope of questionnaire response results	less than 0.5	0.5 ~ 1.5	1.5 ~ 2.5	2.5 ~ 3.5	3.5 ~ 4.5	4.5 or more

광산 전체에 대한 스마트 마이닝 기술 수준은 설문지 응답 결과를 통해 계산되는 종합점수를 이용하여 총 6개 등급(레벨 0~5)으로 분류할 수 있으며, 마찬가지로 3단계의 절차를 통해 결정된다. 먼저, (1) 설문지 응답 결과를 바탕으로 세부평가항목별 점수를 계산한다. 점수는 세부평가항목별 배점에 응답 결과에 대한 가중치를 곱하는 방법으로 계산할 수 있다. 본 연구에서는 설문지 응답 결과에 대한 가중치를 Table 5와 같이 결정하였다. 예를 들어 리더십 수준에 대한 문항의 응답 결과가 레벨 3에 해당한다면, 리더십 항목의 획득점수는 배점 20과 가중치 0.8을 곱한 값인 16이 된다. 다음으로 (2) 세부 평가항목별 획득점수를 모두 합하여 종합점수를 계산한다. 마지막으로 (3) Table 6의 종합점수 구간에 따른 스마트화 수준 구간을 참고하여 광산 현장의 스마트 마이닝 기술 수준을 결정한다. 예를 들어 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가를 통해 계산된 종합점수가 800점이라 가정하면 스마트화 수준은 레벨 3으로 결정할 수 있다.

Table 5. Score weight of response results for each detailed assessment item

Level	0	1	2	3	4	5
Weight	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

Table 6. Smart mining technology level according to the overall score of the proposed model

Level	0	1	2	3	4	5
Scope of the overall score	less than 550	550 ~ 650	650 ~ 750	750 ~ 850	850 ~ 950	950 or more

4. 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델 적용

4.1 연구지역 및 모델 적용방법

본 연구에서는 대한민국 경기도 포천시에 있는 ○○ 광산을 연구지역으로 설정하고, 개발된 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 도구를 적용하여 스마트화 수준을 진단하였다. 이를 통해 연구지역의 스마트화를 위해 필요한 기술 개발 요소와 개선 기회를 도출할 수 있었다. 해당 광산은 중단채광법을 적용하여 매달 23,000톤의 고품질 철광석을 생산하고 있으며, 생산된 원석은 로더와 덤프 트럭을 이용하여 갱외에 위치한 파쇄장으로 운반하고 있다. 또한, 연구지역은 작업장별 광석 및 폐석 운반량, 적재-운반작업 모니터링을 위한 생산관리 시스템을 확충하고 최적 차량 배치 계획 수립, 적재-운반작업 문제진단 및 예측을 위해 ICT 장비와 설비를 도입하여 운영하고 있다. 스마트 마이닝 기술 수준 진단을 위해 연구지역에 직접 방문하였으며 광산 현장 관리자와 함께 진단평가 설문지를 작성하였다.

4.2 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 결과

스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델을 연구지역에 적용하여 평가한 결과 종합점수는 703점이며, 스마트 마이닝 기술 수준은 레벨 2로 분석되었다(Table 7). 국내 일반 제조기업의 스마트화 진입점이 대략 레벨 4 정도임을 고려했을 때(Woo et al., 2018), 연구지역의 스마트화 수준은 레벨 2로 일반 제조업보다 40% 정도 낮은 수준에 있음을 유추할 수 있다. Fig. 4의 각 부분별 진단 결과를 살펴보면 물류운영, 생산계획 및 공정관리, 성과 부문은 스마트화 수준이 비교적 높게 나타났다. 특히, 물류운영 부문의 스마트화 수준은 레벨 4로 가장 높게 평가되었다. 연구지역은 생산된 광석의 입출고 관리 데이터를 정보시스템과 연계하여 실시간 모니터링하면서 재고관리를 수행하고 있으며, 운송이력과 배송정보의 경우에도 정보시스템과 연계하여 모니터링하고 있다. 생산계획 부문은 레벨 3으로 평가되었다. 수요예측과 판매계획에 기반하여 생산자원 활용계획을 수립하고 있으며, 중장기 생산계획 수립 절차를 전사적으로 표준화한 다음 정보시스템과 연계하여 관리하고 있다. 또한, 주간 및 일 단위의 단기 생산일정 계획도 표준화한 다음 정보시스템을 이용해 체계적으로 관리하고 있다. 성과관리 부문은 레벨 3으로 평가되었으며, 생산성, 품질, 원가, 납기, 안전, 환경 분야의 핵심지표를 주기적으로 집계하여 체계적으로 원인 분석을 수행하고 대책을 수립하고 있다. 공정관리 부문에서도 스마트화 수준이 레벨 3으로 다소 높게 나타났다. 연구지역의 경우 정보시스템을 이용하여 장비/설비의 성능, 투입 인력 등을 고려한 작업계획을 수립하고 지시하고 있다. 특히, 일일 작업계획에 따른 생산진도는 ICT 기기를 이용한 정보시스템을 구축하여 체계적으로 관리하고 있다. 실제로 광산 현장에 블루투스 비콘과 같은 근거리 무선통신기기를 도입하여 적재-운반시스템 모니터링과 생산관리 수행하고 있으며, 광석의 적재 및 운반과 관련하여 수집된 데이터를 기반으로 생산계획과 장비운영 계획을 수립하고 있다. 대조적으로 정보시스템(레벨 1), 설비관리(레벨 1), 설비/장비 자동화(레벨 2) 부문의 스마트화 수준은 비교적 낮게 평가되었다. 정보시스템, 설비관리 및 자동화 부문에서는 ICT를 부분적으로 적용하여 관련 데이터를 단순 수집하고 있는 상태이며, 수집된 데이터를 분석 혹은 진단과 활용성이 부족한 상태이다.

이와 같이 스마트 마이닝의 기술 수준이 국내 일반 제조업과 비교했을 때 낮게 나타나는 것은 국내 광업의 특성 때문으로 판단할 수 있다. 국내 광산의 경우 낮은 수익구조로 인해 기술개발과 신기술 도입 등 투자 여력이 매우 부족하고, 현장 기능인력의 고령화와 인력난이 가중되어 새로운 기술의 도입이 쉽지 않다. 또한, 스마트 마이닝의 최종적인 목표인 무인, 자동화 기술을 도입하는 것보다 투자 비용이 비교적 저렴한 IoT, 센서 등의 ICT를 도입하여 데이터 수집 및 관리와 같은 부문에서 스마트화를 달성하고 있기 때문

에 스마트화 수준이 다소 낮게 나타나는 것으로 판단할 수 있다. 따라서, 광업의 전체적인 스마트화 수준을 향상시키기 위해서는 개별 광산의 스마트화 수준을 체계적으로 평가하여 투자가 필요한 부문의 우선순위를 결정할 필요가 있다. 또한, 광산의 투자 여력을 고려하여 스마트 기술의 단계적으로 도입하고 스마트화 수준을 점차 향상 시켜야 할 것이라 판단된다.

Table 7. Items of smart mining technology level diagnostics and assessment model

Categories	Assessment modules	Detailed assessment items	Response result (level)	Average of response results for each assessment module (level)	Technology level by assessment module (level)	Score for each detailed assessment items (score)	Total score by assessment module (score)		
Promotion strategies	Leadership and strategy	Leadership	2	2.3	2	14	58		
		Strategies and action plans	3			16			
		Organization and competency management	2			14			
		Key performance indicator (KPI) management	2			14			
Production planning	Production planning	Mid/long-term production plan	3	3.0	3	32	64		
		Short-term production plan	3			32			
		Establishment of work plan and instruction	3			2.7		3	32
		Production progress management	3						32
Process management	Process management	Abnormal occurrence response management	2	2.0	2	28	92		
		Quality (grade) standards and document management	2			21			
		Inspection data management	2			21			
		Inspection equipment/measurement equipment management	2			21			
Facility management	Facility management	Facility operation management	2	1.3	1	31.5	75		
		Facility maintenance management	0			22.5			
		Maintenance material management	2			21			
		Logistics operation	Logistics operation			Material (stock) management		4	3.5
Shipping and delivery management	3	24							
Information systems and automation	Information system	Enterprise resource planning (ERP)	1	1.0	1	36	108		
		Factory energy management system (FEMS)	1			36			
		security management	1			36			
		Facility automation	Facility automation			Production equipment (vehicles)		1	1.7
Equipment (vehicles) information network	2			42					
Energy/Safety/Environment management	2			42					
Performance	Performance	Productivity (P)	3	3.0	3	12	72		
		Quality (Q)	3			12			
		Cost (C)	3			12			
		Delivery (D)	3			12			
		Safety (S)	3			12			
		Environment (E)	3			12			
Total score						703			
Smart mining technology level							Level 2		

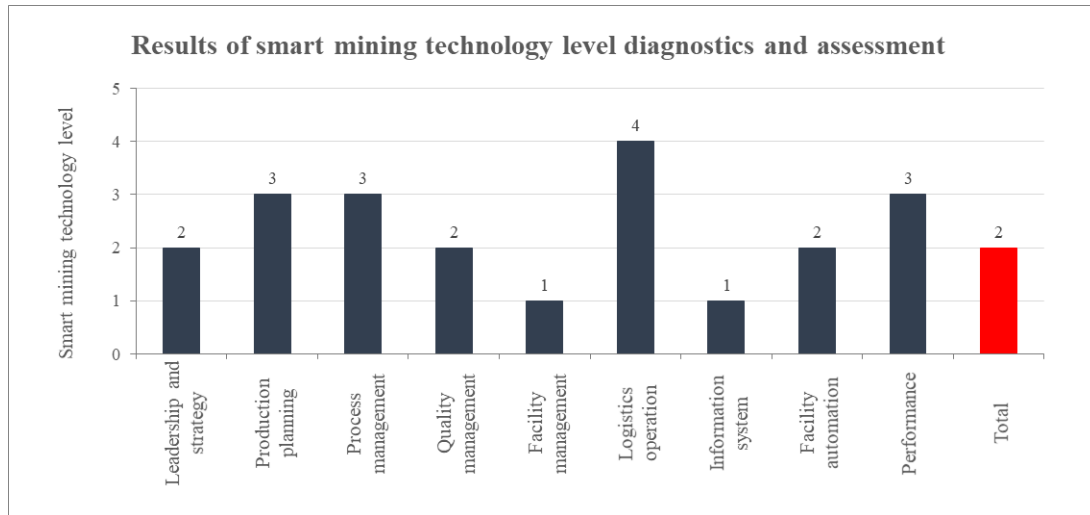


Fig. 4. Results of smart mining technology level diagnostics and assessment

5. 결론

본 연구에서는 광산의 스마트화 수준을 체계적으로 진단하고 평가하기 위한 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델을 제안하였다. 먼저, 스마트 마이닝의 성숙도는 평가 결과의 종합점수에 따라 구분되도록 설계하였으며, 스마트화 수준은 ICT를 비롯한 정보 수집을 위한 스마트 기술이 전혀 적용되어 있지 않은 상태인 레벨 0에서 ICT가 전반적으로 도입되어 광산이 맞춤 및 자율적으로 운영되는 레벨 5까지 표현할 수 있다. 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델은 제조업 분야에서 활용하고 있는 스마트 공장 진단평가 모델의 체계를 유지하면서, 기존 46개의 세부평가항목을 광업에 적합하도록 수정하는 방식으로 개발을 진행하였다. 그 결과, 추진 전략, 프로세스, 정보시스템과 자동화, 성과 부문에서 총 29개의 세부평가항목을 도출할 수 있었다. 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 설문지의 경우 세부평가항목에 따라 총 29개의 문항으로 구성되었으며, 각 문항은 6개의 지문으로 구성하여 광산의 스마트화 수준에 따라 응답할 수 있도록 설계하였다. 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델을 국내 철광산에 적용하여 스마트화 수준을 평가한 결과 레벨 2로 나타났다. ICT와 같은 스마트 기술이 광산 현장에 적용되어 관련 데이터 수집과 모니터링이 이루어지고 있는 물류운영, 생산계획, 공정관리 부문에서 스마트화 수준이 상대적으로 높게 나타났다. 반면, 스마트 기술의 도입이 부진한 정보시스템, 설비관리 부문에서는 스마트화 수준이 낮게 나타나는 것을 확인하였다.

스마트 마이닝의 스마트화 수준에 대한 진단 및 평가는 체계적이고 구조화된 방법으로 진행되어야 하며, 객관적인 자료를 이용한 평가가 이루어져야 한다. 본 연구에서 제안한 스마트 마이닝 기술 수준 진단평가 모델은 광산의 비전 및 전략, 목표 및 성과, 운영 프로세스, 설비(장비) 및 제어, 정보시스템 등으로 구성되어 스마트광산의 스마트화 수준을 정량화할 수 있다. 또한, 스마트화 수준 진단을 통해 스마트 마이닝의 도입, 운영, 고도화의 단계별로 광산의 취약한 부분을 인지하고 투자 및 개선 방향을 제시할 수 있다. 본 연구에서 개발한 진단평가 모델이 국내 광산 현장의 스마트 마이닝 기술 수준을 평가하고, 개선점을 도출하기 위한 도구로써 활용될 수 있을 것이라 기대한다. 국내 금속광 및 비금속광들의 전체적인 스마트화 수준을 평가하고 진단한다면 향후 국내 광업의 현대화 및 선진화 전략 수립에도 기여할 수 있을 것이다.

사사

본 연구는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원을 받아 수행되었다(과제명: 자원개발 산학협력 컨소시엄-스마트 마이닝 전문 인력 양성).

REFERENCES

- Cho, W., 2021, Development of Domestic Standardization in Smart Factory and Manufacturing Data, *Journal of the KIECS*, 16(5), 783-788.
- Hartman, H.L., and Mutmansky, J.M., 2002, *Introductory mining engineering*, John Wiley & Sons.
- Jang, H., 2019, Australian Mining Transformation and Future Prospects in Response to the 4th Industrial Revolution, *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 56(5), 490-513.
- Jung, J., and Choi, Y., 2017, Measuring transport time of mine equipment in an underground mine using a bluetooth beacon system, *Minerals*, 7(1), 1.
- Kim, H.D., Kim, D.M., Lee, K.G., Yoon, J.W., and Youm, S., 2019, Development of Smart Factory Diagnostic Model Reflecting Manufacturing Characteristics and Customized Application of Small and Medium Enterprises, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 42(3), 25-38.
- Korean Agency for Technology and Standards, 2016a, *Smart Factory-Part 1 : Basic Concepts and Structure*, KS X 9001-1.
- Korean Agency for Technology and Standards, 2016b, *Smart Factory-Part 2 : Terminology*, KS X 9001-2.
- Korean Agency for Technology and Standards, 2016c, *Smart Factory-Part 3 : Operation Management System(Diagnostics and Assessment Model)*, KS X 9001-3.
- Lee, H., Yoo, S.K., and Kim, Y.W., 2019, The Trend of Smart Manufacturing Standardization, *TTA Journal*, 181, 26-34.
- Narendran, T.V., and Weinelt, B., 2019, Digital transformation initiative mining and metals industry, In *World Econ. Forum*. <https://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf>.
- Park, J.K., and Jung, K.Y., 2020, Construction of Precise Mine Geospatial Information and Ore Modeling for Smart Mining, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 38(6), 725-731.
- Park, S., and Choi, Y., 2021a, Bluetooth Beacon-Based Mine Production Management Application to Support Ore Haulage Operations in Underground Mines, *Sustainability*, 13(4), 2281.
- Park, S., and Choi, Y., 2021b, Analysis and Diagnosis of Truck Transport Routes in Underground Mines Using Transport Time Data Collected through Bluetooth Beacons and Tablet Computers, *Applied Sciences*, 11(10), 4525.
- Park, Y.K., Song, H.D., and Woo, Y.S., 2017, A Study on Industry 4.0 and Standardization for Smart Factory in Korea, *Journal of Standards and Standardization*, 7(3), 79-85.
- So, B.E., and Shin, S.S., 2017, The Built of Smart Factory Using Sensors and Virtual Process Design, *Journal of the KIECS*, 12(6), 1071-1080.
- Woo, J.H., Chung, H., and Kim, Y.M., 2018, A Study on Smart Factory Diagnostics for Smart Shipyard Construction, *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 55(4), 16-23.