



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0011768
(43) 공개일자 2017년02월02일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/02 (2012.01) G06Q 10/06 (2012.01)
G06Q 50/08 (2012.01) G06Q 50/30 (2012.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
G06Q 50/02 (2013.01)
G06Q 10/06 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2015-0104991
(22) 출원일자 2015년07월24일
심사청구일자 2015년07월24일</p> | <p>(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)</p> <p>(72) 발명자
최요순
부산광역시 남구 홍곡로320번길 132, 113-1101(용당동, 신대연코오롱하늘채아파트)</p> <p>박세범
경상북도 김천시 신양3길 3, 101-401(신음동 1030 47/1, 이원베르빌아파트)</p> <p>(74) 대리인
김정수</p> |
|--|---|

전체 청구항 수 : 총 10 항

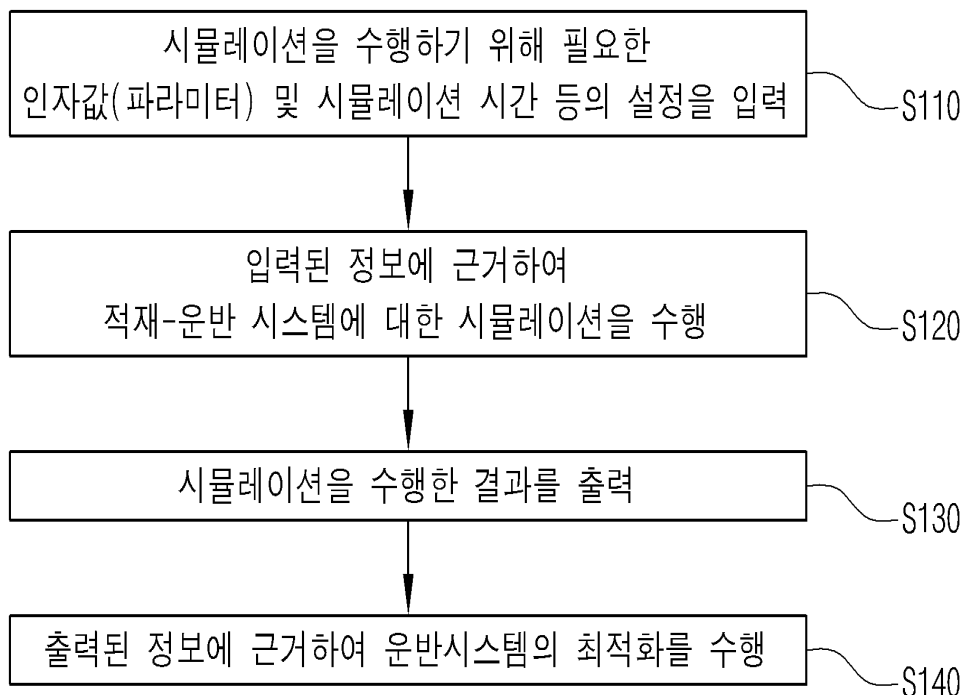
(54) 발명의 명칭 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법

(57) 요약

본 발명은 노천 및 지하광산의 적재-운반 시스템에 적용 가능한 시뮬레이션 기법 및 프로그램에 관한 것으로, 본 발명에 따르면, 2차선 도로로 구성된 노천광산에 대하여만 시뮬레이션이 가능하고 대부분의 운반로가 1차선 도로로 이루어진 지하광산의 적재-운반시스템에 대한 시뮬레이션은 불가능한 한계가 있었던 종래기술의 적재-운반 시

(뒷면에 계속)

대표도 - 도12



스택 시뮬레이션 기법의 문제점을 해결하기 위해, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시뮬레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영방안을 제시할 수 있도록 구성됨으로써, 장비의 제원, 작업의 소요시간, 수익 및 비용, 광산의 운영조건 등의 자료를 이용하여 시스템에 투입될 적재 또는 운반장비들의 성능과 수를 적절하게 결정할 수 있으며, 그것에 의해, 복잡한 광산의 운반 시스템을 보다 용이하게 이해하고 효율적인 운영 및 관리가 가능하도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법이 제공된다.

(52) CPC특허분류

G06Q 50/08 (2013.01)

G06Q 50/30 (2015.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20142520100470

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국에너지기술평가원

연구사업명 산업기술혁신사업

연구과제명 중소형 유연탄 광산의 생산 효율성 제고를 위한 광산관리시스템 개발

기 여 율 1/1

주관기관 세화애플 주식회사

연구기간 2014.12.01 ~ 2015.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

2차선 도로로 구성된 노천광산에 대하여만 시뮬레이션이 가능하고 1차선 도로로 이루어진 지하광산의 적재-운반 시스템에 대한 시뮬레이션은 불가능한 한계가 있었던 종래기술의 적재-운반 시스템 시뮬레이션 기법의 문제점을 해결하기 위해, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시뮬레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영방안을 제시할 수 있도록 하기 위한 처리과정을 컴퓨터나 전용의 하드웨어를 통하여 실행시키도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반 시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법에 있어서,

시뮬레이션을 수행하기 위해 필요한 인자값(파라미터) 및 시뮬레이션 시간을 포함하는 세부 조건에 대한 설정을 입력하는 입력단계;

상기 입력단계에서 입력된 정보에 근거하여 적재-운반 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행하는 시뮬레이션단계;

상기 시뮬레이션단계를 통하여 얻어진 시뮬레이션 결과를 출력하는 출력단계; 및

상기 출력단계에서 제공된 정보에 근거하여 상기 적재-운반 운반시스템의 최적화를 수행하는 최적화단계를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 입력단계는,

입력자료로서, 투입될 장비의 수, 시뮬레이션 기간, 하루 작업시간을 포함하는 시뮬레이션 수행을 위한 인자값과,

트럭의 초기 배차시간 간격, 각 단위작업들의 소요시간을 포함하는 시간 관련 인자값 및

각 장비의 운영비, 광석의 판매단가를 포함하는 경제성 분석을 위한 인자값이 각각 입력되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 시뮬레이션단계는,

광산의 적재-운반 시스템에 투입되는 장비들의 적재, 이동, 투하, 대기 포함하는 이산적인 사건들을 트럭순환 시간(truck cycle time) 이론을 이용하여 이하의 수학적식으로 나타내도록 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법.

$$TCT = SLT + LT + TL + STD + DT + TE + AD$$

(여기서, TCT(truck cycle time)는 트럭순환시간, STL(spotting time at the loader)는 적재장비로의 트럭의 접근시간, LT(loading time)는 광석의 적재시간, TL(travel time of loaded truck)은 광석을 적제한 트럭(실차)이 파쇄장으로 이동하는 시간, STD(spotting time at dumping area)는 파쇄기로의 트럭의 접근시간, DT(dumping time)는 광석의 투하작업 시간, TE(travel time of empty truck)는 광석의 투하 작업을 끝낸 트럭(공차)이 다시 적재지점으로 이동하는 시간, AD(average delay time)는 트럭이 광석을 적재 또는 운반하는 과정에서 발생하는 대기시간을 각각 의미하며, 상기 AD는 적재지점이나 파쇄장에서 트럭이 대기행렬에 들어가 기다려야 하는 시간 및 운반경로에서 마주오는 트럭을 양보하기 위해 대기하는 시간을 포함함)

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 시뮬레이션단계는,

사용자가 설정한 트럭들의 초기 배치시간 간격에 따라 고정 트럭배차 방식으로 트럭들을 투입하는 배치단계;

상기 배치단계에서 투입된 각각의 상기 트럭들을 파쇄기에서 갱구를 거쳐 교차로까지 이동시키고 이동시간(TE)을 계산하며, 각각의 상기 트럭들이 상기 갱구에서 상기 교차로까지 이동할 때 상기 교차로와 상기 갱구 사이의 구간에 마주오는 트럭(실차)이 존재하는 경우 양보를 위한 지연시간(대기시간)(AD)을 추가하는 공차 이동단계;

각각의 상기 트럭들을 상기 교차로에서 각각의 적재지점으로 이동시켜 이동시간(TE)을 계산하고, 각각의 상기 적재지점과 상기 교차로 사이의 구간에 실차가 존재하는 경우 양보를 위한 지연시간(대기시간)(AD)을 추가하며, 각각의 상기 트럭들이 상기 적재지점에 도착하면 로더의 사용 가능 여부를 판단하고, 바로 접근하여 사용이 가능한 경우 상기 로더에 접근하여 적재작업을 수행하도록 하여 접근시간(STL)과 적재시간(LT)을 각각 산출하며, 상기 로더가 다른 트럭의 적재작업을 수행하고 있는 경우 상기 적재작업이 끝날 때까지 늦게 도착한 트럭을 대기열에서 대기시키고 지연시간(AD)을 추가하는 적재단계;

상기 적재단계를 통하여 광석을 적재한 상기 트럭을 운반궤도와 운반도로를 따라 파쇄장으로 이동시켜 이동시간(TL)을 계산하고, 상기 광석을 운반하는 트럭이 계근대에 도착하면 상기 광석의 무게를 재기 위한 시간(AD)을 추가하는 실차 이동단계;

상기 광석을 적재한 트럭이 파쇄장에 도착하면 파쇄기의 사용 가능 여부를 판단하고, 상기 파쇄기의 사용이 가능하면 투하작업을 수행하도록 하여 대기시간(AD), 접근시간(STD) 및 덤프시간(DT)을 각각 산출하며, 상기 파쇄기를 사용하지 못할 경우 상기 트럭을 야적장으로 이동시켜 광석을 야적하도록 하고 대기시간(AD), 접근시간(STD) 및 덤프시간(DT)을 각각 산출하는 투하단계; 및

상기 사용자가 설정한 시뮬레이션 시간이 초과하지 않은 경우 상기 투하단계를 통하여 투하작업을 끝낸 트럭을 다시 상기 적재지점으로 이동시키고, 상기 사용자가 설정한 시뮬레이션 시간이 초과한 경우는 시뮬레이션을 종료하는 결정단계를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 시뮬레이션단계는,

각각의 상기 적재지점에 해당하는 시뮬레이션 알고리즘을 병렬식으로 배치하여 각각의 상기 적재지점마다 병렬 구조로 상기 시뮬레이션이 각각 수행되도록 구성됨으로써,

시뮬레이션하고자 하는 광산의 현장 조건을 고려하여 사용자가 적재지점의 수를 해당 현장 조건에 맞추어 설정할 수 있도록 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 출력단계는,

출력자료로서, 운반궤도에서 트럭의 양보 횟수, 장비의 이용률, 각 장비에서 트럭의 대기행렬 길이, 평균 대기시간, 하루 평균 운반횟수, 하루 평균 운광량을 포함하는 정보가 제공되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 최적화단계는,

상기 출력단계에서 제공된 정보에 근거하여 최적의 장비 투입량을 결정하는 것에 의해 생산성과 수익성을 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영계획을 수립하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 방법은,

GPSS/H 시뮬레이션 언어를 이용하여 컴퓨터에서 구동 가능한 프로그램의 형태로 구현되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법.

청구항 9

청구항 1항 내지 청구항 8항 중 어느 한 항에 기재된 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 컴퓨터에 실행시키도록 구현되는 프로그램이 기록된 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체.

청구항 10

청구항 1항 내지 청구항 8항 중 어느 한 항에 기재된 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 이용하여, 현장 조건에 따라 생산성과 수익성을 고려한 최적의 장비 투입량으로 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 노천 및 지하광산의 적재-운반 시스템에 적용 가능한 시뮬레이션 기법 및 프로그램에 관한 것으로, 더 상세하게는, 복잡한 광산의 운반 시스템을 보다 용이하게 이해하고 효율적인 운영 및 관리에 필요한 정보를 제공할 수 있도록 하기 위해, 장비의 제원, 작업의 소요시간, 수익 및 비용, 광산의 운영조건 등의 자료를 이용하여 시스템에 투입될 적재 또는 운반장비들의 성능과 수를 적절하게 결정할 수 있도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법에 관한 것이다.

[0003] 또한, 본 발명은, 상기한 바와 같이 복잡한 광산의 운반 시스템을 보다 용이하게 이해하고 효율적인 운영 및 관리에 필요한 정보를 제공하기 위하여, 2차선 도로로 구성된 노천광산에 대하여만 시뮬레이션이 가능하고 대부분의 운반로가 1차선 도로로 이루어진 지하광산의 적재-운반시스템에 대한 시뮬레이션은 불가능한 한계가 있었던 종래기술의 적재-운반 시스템 시뮬레이션 기법의 문제점을 해결하기 위해, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시뮬레이션할 수 있도록 구성됨으로써, 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템의 운영방안을 제시할 수 있도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0005] 최근, 지표 부근에 부존된 고품위 광상은 대부분 채굴되어 고갈되고 있으며, 이에, 광산업계에서는, 남아있는 저품위 광상을 효율적으로 채굴하기 위해 고도로 기계화된 대량생산장비를 광산에 투입하고 있다.
- [0007] 즉, 광산의 대형화와 기계화로 인해 채광공정은 과거에 비해 점점 복잡해지고 있으며, 따라서 광산의 수익 증대와 생산성 향상 및 채광공정을 이해하기 위해 천공, 발파, 적재, 운반작업 등으로 구성되는 광산의 생산공정을 시뮬레이션 기법을 이용하여 효과적으로 계획하고 관리하는 것에 대한 중요성이 점차 커지고 있다.
- [0009] 또한, 근래, 광산의 심부화에 따라 운반경로가 길어지고 연료 소비량이 증가하게 되어 운반시스템에 소요되는 비용이 점점 증가하고 있으며, 이에 따라, 노천 및 지하광산의 계획시 광석과 폐석의 운반시스템을 보다 효율적으로 설계하고 시스템에 투입될 적재 또는 운반 장비들의 성능과 수를 적절하게 결정하는 것이 매우 중요하게 여겨지고 있다.
- [0011] 여기서, 상기한 바와 같이 시뮬레이션을 통하여 효율적인 운반시스템을 설계하기 위한 종래기술의 예로는, 예를 들면, 한국 등록특허공보 제10-1154345호에 따르면, 일정한 영역에서 건설공정의 일부분을 담당하는 건설장비에 대응하는 건설장비객체를 생성하고 제어하는 건설장비 에이전트부; 각각의 적재장에 적재된 자재에 대응하는 적재장객체를 생성하고, 시뮬레이션의 실행에 따라 변경되는 각각의 적재장객체에 적재된 자재의 잔여량을 관리하는 건설자재 에이전트부; 사용자로부터 입력받은 파라미터에 의해 상기 적재장객체 각각으로부터 적치장객체까지의 차로에 해당하는 차로객체를 생성하고, 상기 차로객체 각각에 설치되어 일정한 주기로 점멸되는 신호등객체를 생성하는 도로차선 에이전트부; 상기 차로객체 상을 주행하는 차량객체를 생성하고, 사용자가 설정한 파라미터를 기초로 다른 에이전트부에 의해 생성된 객체들과 상호작용하여 상기 차량객체의 거동행태를 구현하는 차량 에이전트부; 및 사용자로부터 시뮬레이션을 위한 파라미터를 입력받고, 각각의 에이전트부의 동작을 관리하여 시뮬레이션을 수행하는 시뮬레이션 실행부를 포함하여, 건설사업관리를 위해 공정계획 시나리오에 따른 건설 자원(장비, 자재, 인력 등)의 흐름을 실제 공사 수행 이전에 컴퓨터상에서 재현하고 평가함으로써 최적의 공정 계획의 수립을 지원하기 위한 멀티에이전트 기반의 건설장비 투입량 결정 지원 시스템에 관한 기술내용이 제시된 바 있다.
- [0013] 또한, 상기한 바와 같이 시뮬레이션을 통하여 효율적인 운반시스템을 설계하기 위한 종래기술의 다른 예로는, 예를 들면, 한국 등록특허공보 제10-1119929호에 따르면, 작업장 정보 및 자동 운반차의 운영 설계 정보를 입력하는 사용자 인터페이스 유닛; 작업장 정보에 기초하여 작업장의 흐름 경로를 결정하고 작업장의 흐름 경로와 운영 설계 정보에 기초하여 작업장에서 자동 운반차의 운행을 모델링 및 시뮬레이션하는 시뮬레이션 엔진 유닛을 포함하여, AGV 시스템의 모델링에 따른 소요 시간을 줄일 수 있고, AGV 시스템의 성능 검증이 용이하며, 정확도를 높일 수 있도록 구성되는 자동 운반차 시스템 및 그 시뮬레이션 방법에 관한 기술내용이 제시된 바 있다.
- [0015] 아울러, 상기한 바와 같이 시뮬레이션을 통하여 효율적인 운반시스템을 설계하기 위한 종래기술의 또 다른 예로는, 예를 들면, 한국 공개특허공보 제10-2015-0026994호에 따르면, (a) 트레이의 출고 리스트를 결정하는 단계; (b) 상기 출고 리스트 내의 출고 요청 트레이를 적재 우선 순서에 따라 크레인에 적재하는 단계; (c) 상기 (b) 단계에서 크레인에 적재된 트레이와 동시 출고가 가능한 다른 트레이에 대한 출고 요청이 출고대기 한계시간 이내에 있으면 이를 함께 크레인에 적재하는 단계; 및 (d) 상기 (b) 단계 또는 (c) 단계에서 적재된 트레이들을 이동시키는 단계를 포함하는 트레이의 출고 최적화 방법 및 이를 이용한 최적화 시스템에 관한 기술내용이 제시된 바 있다.
- [0017] 더욱이, 상기한 바와 같이 시뮬레이션을 통하여 효율적인 운반시스템을 설계하기 위한 종래기술의 또 다른 예로는, 예를 들면, 한국 등록특허공보 제110-0580125호에 따르면, 건설 프로세스에 대한 수학적/통계적 시뮬레이션

모델을 구축하는 프로세스 모델링단계, 구축된 모델의 각 사건에 대한 결과를 구하는 단계, 상기 결과를 분석하여 원하는 데이터를 얻는 단계를 포함하는 프로세스 시뮬레이션 과정과, 시각화 프로그램을 통해 그래픽 객체를 생성하는 그래픽 모델링단계, 그래픽 시뮬레이션을 위해 상기 그래픽 객체의 동작을 지시하는 스크립트 생성단계, 상기 데이터를 스크립트의 입력값으로 하여 그래픽 객체의 움직임을 시각화하는 단계를 포함하여, 시공과정을 가시적으로 확인하여 최적의 건설장비 조합, 장비 운용계획 수립, 시공성 검토 및 건설공사의 불확실성을 해소하는 것에 의해 효율적으로 운용할 수 있도록 구성되는 그래픽 시뮬레이션 과정을 포함하는 건설 공사를 위한 프로세스/그래픽 통합연계 시뮬레이션 방법에 관한 기술내용이 제시된 바 있다.

[0019] 상기한 바와 같이, 종래, 여러 가지 기술내용들이 제시된 바 있으나, 상기한 종래기술의 방법들은 다음과 같은 문제점이 있는 것이었다.

[0021] 더 상세하게는, 광산에서 광석 또는 폐석의 운반은 주로 트럭, 컨베이어, 레일, 셔틀카, LHD(load haulage dump) 및 스킵(skip)에 의해 이루어지며, 특히, 트럭과 로더로 이루어진 운반시스템은 운반경로에 있어 높은 유연성, 빠른 운반속도, 높은 생산성 등과 같은 장점을 가지고 있음으로 인해 노천 및 지하광산의 운반시스템에 널리 사용되고 있다.

[0023] 여기서, 종래, 쇼벨과 트럭의 다양한 조합으로 구성된 노천광산 운반 시스템의 생산성을 높이기 위한 시뮬레이션 기법들은 다수 제시된 바 있으나, 노천광산 비해 보다 복잡한 작업환경과 운반시스템을 가지는 지하광산의 경우에는 연구가 상대적으로 미흡하여, 단일 적재지점으로 구성되는 단순한 형태의 시뮬레이션만 수행할 수 있음으로 인해 다수 적재지점으로 구성되는 실제 연구지역의 운반시스템의 특성은 반영하지 못하는 한계가 있다.

[0025] 즉, 일반적으로, 종래기술에 따른 광산의 적재-운반 시스템의 최적화 시뮬레이션 기법은 대부분이 2차선 도로로 이루어진 대규모 노천광산을 대상으로만 시뮬레이션을 수행할 수 있는 한계가 있으며, 그로 인해, 대부분의 운반로가 1차선 도로로 이루어진 지하광산의 적재-운반 시스템은 시뮬레이션할 수 없는 문제가 있었다.

[0027] 따라서 상기한 바와 같이, 2차선 도로로 이루어진 대규모 노천광산에 대하여만 시뮬레이션이 가능하고 1차선 도로로 이루어진 지하광산의 적재-운반 시스템에 대하여는 시뮬레이션할 수 없는 한계가 있었던 종래기술의 광산 적재-운반 시스템의 최적화 시뮬레이션 기법들의 문제점을 해결하기 위하여는, 광산의 수익과 생산성에 지대한 영향을 미치는 적재-운반 시스템의 특성을 보다 명확하고 용이하게 이해하고 시스템에 투입되는 장비의 수와 성능을 결정할 수 있도록, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반 시스템에 대하여 최적화를 수행할 수 있도록 구성되는 새로운 구성의 시뮬레이션 기법을 제시하는 것이 바람직하나, 아직까지 그러한 요구를 모두 만족시키는 장치나 방법은 제공되지 못하고 있는 실정이다.

[0029] [선행기술문헌]

- [0030] 1. 한국 등록특허공보 제10-1154345호 (2012.06.01.)
- [0031] 2. 한국 등록특허공보 제10-1119929호 (2012.02.17.)
- [0032] 3. 한국 공개특허공보 제10-2015-0026994호 (2015.03.11.)
- [0033] 4. 한국 등록특허공보 제110-0580125호 (2006.05.09.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0035] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점을 해결하고자 하는 것으로, 따라서 본 발명의 목적은, 2차선 도

도로 구성된 노천광산에 대하여만 시뮬레이션이 가능하고 대부분의 운반로가 1차선 도로로 이루어진 지하광산의 적재-운반시스템에 대한 시뮬레이션은 불가능한 한계가 있었던 종래기술의 적재-운반 시스템 시뮬레이션 기법의 문제점을 해결하기 위해, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시뮬레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영방안을 제시할 수 있도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 제공하고자 하는 것이다.

[0037] 또한, 본 발명의 다른 목적은, 상기한 바와 같이 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시뮬레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영방안을 제시할 수 있도록 구성됨으로써, 장비의 제원, 작업의 소요시간, 수익 및 비용, 광산의 운영조건 등의 자료를 이용하여 시스템에 투입될 적재 또는 운반장비들의 성능과 수를 적절하게 결정할 수 있으며, 그것에 의해, 복잡한 광산의 운반 시스템을 보다 용이하게 이해하고 효율적인 운영 및 관리가 가능하도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 제공하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0039] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명에 따르면, 2차선 도로로 구성된 노천광산에 대하여만 시뮬레이션이 가능하고 1차선 도로로 이루어진 지하광산의 적재-운반시스템에 대한 시뮬레이션은 불가능한 한계가 있었던 종래기술의 적재-운반 시스템 시뮬레이션 기법의 문제점을 해결하기 위해, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시뮬레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영방안을 제시할 수 있도록 하기 위한 처리과정을 컴퓨터나 전용의 하드웨어를 통하여 실행시키도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법에 있어서, 시뮬레이션을 수행하기 위해 필요한 인자값(파라미터) 및 시뮬레이션 시간을 포함하는 세부 조건에 대한 설정을 입력하는 입력단계; 상기 입력단계에서 입력된 정보에 근거하여 적재-운반 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행하는 시뮬레이션단계; 상기 시뮬레이션단계를 통하여 얻어진 시뮬레이션 결과를 출력하는 출력단계; 및 상기 출력단계에서 제공된 정보에 근거하여 상기 적재-운반 운반시스템의 최적화를 수행하는 최적화단계를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법이 제공된다.

[0041] 여기서, 상기 입력단계는, 입력자료로서, 투입될 장비의 수, 시뮬레이션 기간, 하루 작업시간을 포함하는 시뮬레이션 수행을 위한 인자값과, 트럭의 초기 배치시간 간격, 각 단위작업들의 소요시간을 포함하는 시간 관련 인자값 및 각 장비의 운영비, 광석의 판매단가를 포함하는 경제성 분석을 위한 인자값이 각각 입력되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0043] 또한, 상기 시뮬레이션단계는, 광산의 적재-운반 시스템에 투입되는 장비들의 적재, 이동, 투하, 대기를 포함하는 이산적인 사건들을 트럭순환시간(truck cycle time) 이론을 이용하여 이하의 수학식으로 나타내도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0045]
$$TCT = SLT + LT + TL + STD + DT + TE + AD$$

[0047] (여기서, TCT(truck cycle time)는 트럭순환시간, STL(spotting time at the loader)는 적재장비로의 트럭의 접근시간, LT(loading time)는 광석의 적재시간, TL(travel time of loaded truck)은 광석을 적재한 트럭(실차)이 파쇄장으로 이동하는 시간, STD(spotting time at dumping area)는 파쇄기로의 트럭의 접근시간, DT(dumping time)는 광석의 투하작업 시간, TE(travel time of empty truck)는 광석의 투하 작업을 끝낸 트럭(공차)이 다시 적재지점으로 이동하는 시간, AD(average delay time)는 트럭이 광석을 적재 또는 운반하는 과정에서 발생하는 대기시간을 각각 의미하며, 상기 AD는 적재지점이나 파쇄장에서 트럭이 대기행렬에 들어가 기다

려야 하는 시간 및 운반궤도에서 마주오는 트럭을 양보하기 위해 대기하는 시간을 포함함)

- [0049] 아울러, 상기 시뮬레이션단계는, 사용자가 설정한 트럭들의 초기 배치시간 간격에 따라 고정 트럭배차 방식으로 트럭들을 투입하는 배치단계; 상기 배치단계에서 투입된 각각의 상기 트럭들을 파쇄기에서 갱구를 거쳐 교차로 까지 이동시키고 이동시간(TE)을 계산하며, 각각의 상기 트럭들이 상기 갱구에서 상기 교차로까지 이동할 때 상기 교차로와 상기 갱구 사이의 구간에 마주오는 트럭(실차)이 존재하는 경우 양보를 위한 지연시간(대기시간)(AD)을 추가하는 공차 이동단계; 각각의 상기 트럭들을 상기 교차로에서 각각의 적재지점으로 이동시켜 이동시간(TE)을 계산하고, 각각의 상기 적재지점과 상기 교차로 사이의 구간에 실차가 존재하는 경우 양보를 위한 지연시간(대기시간)(AD)을 추가하며, 각각의 상기 트럭들이 상기 적재지점에 도착하면 로더의 사용 가능 여부를 판단하고, 바로 접근하여 사용이 가능한 경우 상기 로더에 접근하여 적재작업을 수행하도록 하여 접근시간(STL)과 적재시간(LT)을 각각 산출하며, 상기 로더가 다른 트럭의 적재작업을 수행하고 있는 경우 상기 적재작업이 끝날 때까지 늦게 도착한 트럭을 대기열에서 대기시키고 지연시간(AD)을 추가하는 적재단계; 상기 적재단계를 통하여 광석을 적재한 상기 트럭을 운반궤도와 운반도로를 따라 파쇄장으로 이동시켜 이동시간(TL)을 계산하고, 상기 광석을 운반하는 트럭이 계근대에 도착하면 상기 광석의 무게를 재기 위한 시간(AD)을 추가하는 실차 이동단계; 상기 광석을 적재한 트럭이 파쇄장에 도착하면 파쇄기의 사용 가능 여부를 판단하고, 상기 파쇄기의 사용이 가능하면 투하작업을 수행하도록 하여 대기시간(AD), 접근시간(STD) 및 덤프시간(DT)을 각각 산출하며, 상기 파쇄기를 사용하지 못할 경우 상기 트럭을 야적장으로 이동시켜 광석을 야적하도록 하고 대기시간(AD), 접근시간(STD) 및 덤프시간(DT)을 각각 산출하는 투하단계; 및 상기 사용자가 설정한 시뮬레이션 시간이 초과하지 않은 경우 상기 투하단계를 통하여 투하작업을 끝낸 트럭을 다시 상기 적재지점으로 이동시키고, 상기 사용자가 설정한 시뮬레이션 시간이 초과한 경우는 시뮬레이션을 종료하는 결정단계를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0051] 여기서, 상기 시뮬레이션단계는, 각각의 상기 적재지점에 해당하는 시뮬레이션 알고리즘을 병렬식으로 배치하여 각각의 상기 적재지점마다 병렬구조로 상기 시뮬레이션이 각각 수행되도록 구성됨으로써, 시뮬레이션하고자 하는 광산의 현장 조건을 고려하여 사용자가 적재지점의 수를 해당 현장 조건에 맞추어 설정할 수 있도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0053] 더욱이, 상기 출력단계는, 출력자료로서, 운반궤도에서 트럭의 양보 횟수, 장비의 이용률, 각 장비에서 트럭의 대기행렬 길이, 평균 대기시간, 하루 평균 운반횟수, 하루 평균 운광량을 포함하는 정보가 제공되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0055] 또한, 상기 최적화단계는, 상기 출력단계에서 제공된 정보에 근거하여 최적의 장비 투입량을 결정하는 것에 의해 생산성과 수익성을 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영계획을 수립하는 처리가 수행되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0057] 아울러, 상기 방법은, GPSS/H 시뮬레이션 언어를 이용하여 컴퓨터에서 구동 가능한 프로그램의 형태로 구현되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0059] 더욱이, 본 발명에 따르면, 상기에 기재된 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션 방법을 컴퓨터에 실행시키도록 구현되는 프로그램이 기록된 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체가 제공된다.
- [0061] 또한, 본 발명에 따르면, 상기에 기재된 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 이용하여, 현장 조건에 따라 생산성과 수익성을 고려한 최적의 장비 투입량으로 구성되는 것을 특징으로 하는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템이 제공된다.

발명의 효과

[0063] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시뮬레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영방안을 제시할 수 있도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법이 제공됨으로써, 장비의 제원, 작업의 소요시간, 수익 및 비용, 광산의 운영조건 등의 자료를 이용하여 시스템에 투입될 적재 또는 운반장비들의 성능과 수를 적절하게 결정할 수 있으며, 그것에 의해, 복잡한 광산의 운반 시스템을 보다 용이하게 이해하고 효율적인 운영 및 관리가 가능해진다.

[0065] 또한, 본 발명에 따르면, 상기한 바와 같이 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시뮬레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영방안을 제시할 수 있도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법이 제공됨으로써, 2차선 도로로 구성된 노천광산에 대하여만 시뮬레이션이 가능하고 대부분의 운반로가 1차선 도로로 이루어진 지하광산의 적재-운반시스템에 대한 시뮬레이션은 불가능한 한계가 있었던 종래기술의 적재-운반 시스템 시뮬레이션 기법의 문제점을 해결할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0067] 도 1은 2차선 도로로 이루어진 광산의 적재-운반 시스템의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다.
 도 2는 1차선 도로로 이루어진 광산의 적재-운반 시스템의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다.
 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 전체적인 개념을 개략적으로 나타내는 도면이다.
 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 전체적인 처리 알고리즘을 개략적으로 나타내는 도면이다.
 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 컴퓨터에서 실행 가능한 프로그램으로 구현하기 위해 GPSS/H 명령어 및 함수들을 시뮬레이션 수행에 필요한 인자 값들과 함께 ASCII 형식으로 나타낸 텍스트 파일의 일부를 나타내는 도면이다.
 도 6은 GPSS/H 시뮬레이션 언어를 이용하여 개발된 프로그램이 GPSS/H 시뮬레이션 엔진과 함께 Window 32 console을 통해 호출되어 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타내는 도면이다.
 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 성능을 검증하기 위해, 현장조건을 반영하여 설정한 시뮬레이션 인자값들을 표로 정리하여 나타낸 도면이다.
 도 8은 본 발명의 실시예에 따라 현장조건을 반영하여 수행된 시뮬레이션 결과를 표로 정리하여 나타낸 도면이다.
 도 9는 연구현장에서 실제 측정에 의해 얻어진 결과를 표로 정리하여 나타내는 도면이다.
 도 10은 목표 생산량 충족을 위한 트럭 수의 최적화를 위해 본 발명의 실시예에 따라 현장조건을 반영하여 수행된 시뮬레이션 결과를 표로 정리하여 나타내는 도면이다.
 도 11은 파쇄기 이용률을 감소시키기 위해 파쇄기의 성능을 400톤(200톤×2)에서 500톤(250톤×2)으로 증가시켜 수행한 시뮬레이션 결과를 표로 정리하여 나타낸 도면이다.
 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0068] 이하, 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시물

레이션방법의 구체적인 실시예에 대하여 설명한다.

- [0070] 여기서, 이하에 설명하는 내용은 본 발명을 실시하기 위한 하나의 실시예일 뿐이며, 본 발명은 이하에 설명하는 실시예의 내용으로만 한정되는 것은 아니라는 사실에 유념해야 한다.
- [0072] 또한, 이하의 본 발명의 실시예에 대한 설명에 있어서, 종래기술의 내용과 동일 또는 유사하거나 당업자의 수준에서 용이하게 이해하고 실시할 수 있다고 판단되는 부분에 대하여는, 설명을 간략히 하기 위해 그 상세한 설명을 생략하였음에 유념해야 한다.
- [0074] 즉, 본 발명은, 후술하는 바와 같이, 2차선 도로로 구성된 노천광산에 대하여만 시물레이션이 가능하고 대부분의 운반로가 1차선 도로로 이루어진 지하광산의 적재-운반시스템에 대한 시물레이션은 불가능한 한계가 있었던 종래기술의 적재-운반 시스템 시물레이션 기법의 문제점을 해결하기 위해, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시물레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영방안을 제시할 수 있도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시물레이션방법에 관한 것이다.
- [0076] 또한, 본 발명은, 후술하는 바와 같이, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시물레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영방안을 제시할 수 있도록 구성됨으로써, 장비의 제원, 작업의 소요시간, 수익 및 비용, 광산의 운영조건 등의 자료를 이용하여 시스템에 투입될 적재 또는 운반장비들의 성능과 수를 적절하게 결정할 수 있으며, 그것에 의해, 복잡한 광산의 운반 시스템을 보다 용이하게 이해하고 효율적인 운영 및 관리가 가능하도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시물레이션방법에 관한 것이다.
- [0078] 계속해서, 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시물레이션방법의 구체적인 내용에 대하여 설명한다.
- [0080] 먼저, 도 1을 참조하면, 도 1은 2차선 도로로 이루어진 광산 적재-운반 시스템의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다.
- [0082] 즉, 도 1에 나타난 바와 같이, 2차선 도로로 이루어진 광산 적재-운반 시스템은, 하나의 적재지점과 덤프지점이 광산현장 내에 위치하고 있으며, 따라서 기존의 시물레이션 기법에 고려된 적재-운반 시스템은, 적재지점과 덤프지점 사이에서 트럭들이 양방향 통행이 가능하며, 운반작업 도중 트럭들이 서로 마주치지 않는 것을 전제로 하여 이루어진다.
- [0084] 또한, 도 2를 참조하면, 도 2는 1차선 도로로 이루어진 광산의 적재-운반 시스템의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다.
- [0086] 즉, 도 2에 나타난 바와 같이, 1차선 도로로 이루어진 광산의 적재-운반 시스템은, 하나의 적재지점과 덤프지점이 광산현장 내에 위치하고 있으며, 도 1에 나타난 2차선 도로로 이루어진 광산에 대한 기존의 시물레이션 기법에 고려된 적재-운반 시스템과는 달리, 1차선 도로에서는 트럭들의 양방향 통행이 불가능하므로, 구간 내에서 트럭들이 마주치게 되면 한 대의 트럭은 정지하여 양보해야 하고, 이를 위해, 1차선 도로로 이루어진 광산의 적재-운반 시스템에서는, 도 2에 나타난 바와 같이, 마주 오는 트럭에 양보하기 위한 별도의 공간이 마련되어 있다.

- [0088] 따라서 상기한 바와 같이, 1차선 도로로 이루어진 광산의 적재-운반 시스템에서는 트럭들의 양방향 통행이 불가능하므로 구간 내에서 트럭들이 마주치게 되는 경우를 고려하여 시뮬레이션을 수행하여야 하나, 종래기술의 광산 운반시스템 시뮬레이션 기법들은 트럭들의 양방향 통행이 가능하여 운반작업 도중 서로 마주치지 않는 것을 전제로 하고 있음으로 인해, 이와 같이 1차선 도로로 이루어진 광산의 적재-운반 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행할 수 없는 한계가 있었다.
- [0090] 이에, 본 발명에서는, 상기한 바와 같은 종래기술의 광산 적재-운반 시스템 시뮬레이션 기법들의 문제점을 해결하여, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반 시스템 모두에 대하여 시뮬레이션이 가능한 새로운 시뮬레이션 방법을 제시하였다.
- [0092] 계속해서, 도면을 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 구체적인 내용에 대하여 설명한다.
- [0094] 먼저, 도 3을 참조하면, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 전체적인 개념을 개략적으로 나타내는 도면이다.
- [0096] 도 3에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법은, GPSS/H 시뮬레이션 언어를 이용하여 1차선 및 2차선 도로로 구성된 광산의 운반로를 모두 고려할 수 있는 시뮬레이션 알고리즘을 프로그램으로 구현하고, 투입될 장비의 성능과 수, 시뮬레이션 기간, 하루 작업시간 등과 같은 시뮬레이션 수행을 위한 인자값(시뮬레이션 파라미터)과, 트럭 배치시간 간격, 공차 및 실차의 이동시간, 적재 및 덤프시간 등과 같은 시간 관련 인자값(사건 파라미터)을 입력하여 시뮬레이션을 수행한 후, 트럭의 대기행렬 길이, 평균 대기시간, 하루 평균 운반횟수, 하루 평균 운반량과 같은 시뮬레이션 결과를 출력하는 일련의 처리단계로 구성될 수 있다.
- [0098] 더 상세하게는, 도 4를 참조하면, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 전체적인 처리 알고리즘을 개략적으로 나타내는 도면이다.
- [0100] 도 4에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 시뮬레이션 알고리즘은, 광산의 적재-운반 시스템에 투입되는 장비들의 적재, 이동, 투하, 대기 등과 같은 이산적인 사건들로 구성되며, 이는, 트럭순환시간(truck cycle time) 이론을 이용하여 이하의 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.
- [0102] [수학식 1]
- [0103]
$$TCT = SLT + LT + TL + STD + DT + TE + AD$$
- [0105] 여기서, TCT(truck cycle time)는 트럭순환시간, STL(spotting time at the loader)는 적재장비로의 트럭의 접근시간, LT(loading time)는 광석의 적재시간, TL(travel time of loaded truck)은 광석을 적제한 트럭(실차)이 파쇄장으로 이동하는 시간, STD(spotting time at dumping area)는 파쇄기로의 트럭의 접근시간, DT(dumping time)는 광석의 투하작업 시간, TE(travel time of empty truck)는 광석의 투하 작업을 끝낸 트럭(공차)이 다시 적재지점으로 이동하는 시간, AD(average delay time)는 트럭이 광석을 적재 또는 운반하는 과정에서 발생하는 대기시간을 각각 의미한다.

- [0107] 또한, AD는 적재지점이나 파쇄장에서 트럭이 대기행렬에 들어가 기다려야 하는 시간, 운반갱도에서 마주오는 트럭을 양보하기 위해 대기하는 시간을 포함한다.
- [0109] 아울러, 도 4에 나타난 시물레이션 알고리즘에 있어서, 시물레이션하고자 하는 광산의 현장 조건을 고려하여 사용자가 적재지점의 수를 해당 현장 조건에 맞추어 설정할 수 있도록, 도 4에 나타난 바와 같이, 적재지점에 해당하는 알고리즘을 병렬식으로 배치하여 구성된다.
- [0111] 더 상세하게는, 시물레이션이 시작되면, 트럭들은 사용자가 설정한 트럭들의 초기 배차시간 간격에 따라 고정 트럭배차 방식으로 투입되며, 시스템에 투입된 트럭은 파쇄기에서 갱구까지 이동하게 되고, 갱구에 도착한 트럭은 다시 교차로까지 이동하게 된다(TE).
- [0113] 여기서, 트럭들이 갱구에서 교차로까지 이동할 때 교차로와 갱구 사이의 구간에 실차가 존재하게 되면 트럭을 양보하기 위한 시간(대기시간)이 추가적으로 발생하며, 즉, AD가 발생할 수 있다.
- [0115] 아울러, 트럭들이 교차로에서 각 적재지점으로 이동할 때에도 각 적재지점과 교차로 사이의 구간에 실차가 존재하면 TE와 AD가 동시에 발생하게 된다.
- [0117] 계속해서, 적재지점에 도착한 트럭은 로더의 사용가능 여부를 판단하고, 바로 접근하여 사용이 가능한 경우, 트럭은 적재작업을 위해 로더에 접근하여 적재작업을 수행하게 되며, 이때, STL과 LT가 발생한다.
- [0119] 만약, 로더가 다른 트럭의 적재작업을 수행하고 있다면 늦게 도착한 트럭은 적재작업이 끝날 때까지 대기열에서 대기해야 하며, 이때 AD가 발생하게 된다.
- [0121] 더욱이, 광석을 적재한 트럭은 운반갱도와 운반도로를 따라 파쇄장으로 이동하게 되며(TL), 광석을 운반하는 트럭이 계근대에 도착하게 되면 광석의 무게를 재기 위한 시간이 별도로 발생한다(AD).
- [0123] 파쇄장에 도착한 트럭은 현재 파쇄기의 사용가능 여부를 파악하고, 이때 파쇄기의 사용이 가능하면 투하작업을 수행하며(AD, STD, DT), 반대로 파쇄기를 사용하지 못할 경우 트럭은 야적장으로 이동하여 광석을 야적하게 된다(AD, STD, DT).
- [0125] 상기한 바와 같이 하여 투하작업까지 끝낸 트럭은 시물레이션 수행시 사용자가 설정한 시물레이션 시간을 확인하여 다시 적재지점으로 이동할 것인지 아니면 시물레이션을 종료할 것인지 결정한다.
- [0127] 또한, 상기한 바와 같은 처리 알고리즘은, 도 4에 나타난 바와 같은 일련의 처리단계를 수행하도록 구성되는 전용의 하드웨어로서 구현될 수도 있으나, 바람직하게는, 도 4에 나타난 바와 같은 일련의 처리단계를 컴퓨터에 실행시키도록 구성되는 컴퓨터에서 구동 가능한 프로그램의 형태로 구현될 수 있다.
- [0129] 이를 위해, 본 발명의 실시예에서는, GPSS/H 시물레이션 언어를 이용하여 도 4에 나타난 바와 같은 일련의 처리단계를 컴퓨터에 실행시키도록 구성되는 프로그램을 구현하였다.

- [0131] 즉, GPSS/H 시뮬레이션 언어는 전문 시뮬레이션 언어 중의 하나로 강력한 시뮬레이션 환경을 제공하며 교통, 물류, 광업 등의 다양한 산업분야에서 활용되고 있다.
- [0132] 또한, GPSS/H는 프로그램의 논리를 이해하기 쉽고, 메모장과 같은 텍스트 편집 프로그램을 통해 시뮬레이션 프로그램을 개발할 수 있으므로 빠르고 간결하게 작성할 수 있으며, 절차적 프로그래밍 언어인 Fortran과 비교할 때 프로그램의 작성시간, 실행시간, 프로그램 수정의 용이성, 프로그램 코드의 길이 등의 여러 가지 측면에서 장점을 가진다.
- [0134] 아울러, GPSS/H 명령어들은 시뮬레이션 알고리즘을 구성하는 인자값들과 함께 ASCII 형식의 텍스트 파일로 작성되며, 시뮬레이션 결과는 사용자의 설정에 따라 'Window 32 console'을 통해 PC 화면으로 출력되거나, 텍스트 파일로 저장할 수 있다.
- [0136] 즉, 도 5 및 도 6을 참조하면, 도 5는 상기한 바와 같이 구성되는 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 컴퓨터에서 실행 가능한 프로그램으로 구현하기 위해 GPSS/H 명령어 및 함수들을 시뮬레이션 수행에 필요한 인자값들과 함께 ASCII 형식으로 나타낸 텍스트 파일의 일부를 나타내는 도면이다.
- [0138] 또한, 도 6을 참조하면, 도 6은 GPSS/H 시뮬레이션 언어를 이용하여 개발된 프로그램이 GPSS/H 시뮬레이션 엔진과 함께 Window 32 console을 통해 호출되어 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타내는 도면이다.
- [0140] 따라서 상기한 바와 같은 일련의 처리과정을 통하여 시뮬레이션을 수행함으로써, 예를 들면, 작업장별로 배치되는 트럭의 수의 최적화 및 목표생산량 충족을 위한 트럭의 수의 최적화 등과 같이, 필요에 따라 각 부분별로 최적화를 수행하여 광산의 적재-운반 시스템에 대한 최적화가 가능해진다.
- [0142] 계속해서, 상기한 바와 같이 하여 구성되는 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 실제 사례에 적용하여 성능을 검증한 결과에 대하여 설명한다.
- [0144] 즉, 본 발명자들은, 상기한 바와 같이 하여 구성되는 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 개발하기 위해 강원도 삼척시 신기면 대평리에 위치하고 있는 (주)대성MDI 동해사업소(129° 05' - 129° 07'E, 37° 17' - 37° 19'N)를 연구지역으로 선정하고 세 차례의 현장 조사를 수행하였다.
- [0146] 더 상세하게는, 2014년 8월 현장의 운반시스템은 3곳의 적재지점(470, 540, 590갱), 1곳의 파쇄장(200tph 용량의 파쇄기 2기), 야적장, 계근대로 구성되어 있었으며, 각 적재지점에 4대(470갱), 6대(540갱), 4대(590갱)의 트럭들이 고정배차 방식으로 투입되어 광석을 운반하고 있었다.
- [0148] 또한, 야적장에는 로더가 야적장에 적치된 광석을 파쇄기에 적재 및 운반을 수행하고 있었고, 연구지역의 갱구에서 각 적재지점으로 이어지는 운반갱도는 지하광산의 특성상 폭이 매우 좁음으로 인해 갱도 내에 마주 오는 트럭들을 피하기 위한 공간이 일정 간격으로 마련되어 있었다.
- [0150] 즉, 광석의 덩핑을 끝낸 후 적재지점으로 복귀하는 공차의 경우, 갱도 내에서 광석을 적재하고 파쇄장으로 향하는 실차를 마주치게 되면 이 공간에 정차하여 상대 트럭에게 길을 양보하게 되고, 이때 대기시간이 발생한다.

- [0152] 아울러, 연구지역의 사례연구를 위해 시뮬레이션 수행시 필요한 인자값을 현장조사를 통해 조사하였고, 시뮬레이션 알고리즘을 구성하는 각 단위작업들에 대한 소요시간은 스톱워치를 이용하여 측정하였다.
- [0154] 각 단위작업들은 최대 20회의 반복 측정을 수행하였으며, 평균±표준편차의 형태로 정리하였고, 경제성 분석과 관련한 인자값과 장비제원에 관련된 값은 (주)대성MDI에서 제공받은 자료와 MKE와 KIGAM(2011)이 발표한 2011년도 한국 광산물 수급현황, KORES(2011)의 대성MDI(주) 동해광산 기술정보분석을 참고하여 설정하였다.
- [0156] 더욱이, 상기한 시뮬레이션 알고리즘에 있어서, 현장 여건을 보다 상세히 반영할 수 있도록 다음과 같이 추가적인 조건들을 가정하였다.
- [0158] - 적재지점에서는 한 번에 한 대의 트럭만 적재작업을 수행할 수 있으며, 파쇄장(파쇄기 2기)에서는 한 번에 두 대의 트럭이 투하작업을 수행할 수 있다.
- [0159] - 시스템에 투입되는 트럭은 동일한 성능을 가지고 있으며, 한번 적재 및 운반시 운반되는 광석의 무게는 광석을 덤프한 이후에 측정되는 것으로 가정한다.
- [0160] - 공차가 적재지점으로 이동할 때 파쇄장-갱구까지의 구간은 2차선 도로이며, 갱구에서 적재지점까지의 구간은 1차선 도로이다(현장여건 반영).
- [0161] - 1차선 도로에서는 트럭들이 한 지점을 동시에 교차하여 지나갈 수 없다.
- [0162] - 트럭 1대당 운반할 수 있는 광석의 무게(ton)는 평균 25, 표준편차 5의 정규분포를 따르며, 시뮬레이션 알고리즘 상에서 파쇄기 또는 야적장에 덤프를 마친 광석만 생산량으로 합산된다.
- [0163] - 야적장의 한계용량은 5,000ton이며, 야적장에 덤프된 광석이 200ton을 초과하게 되면 야적장에 위치한 로더에 의해 파쇄기로 덤프되고, 이때, 로더의 운광량(ton)은 평균 8, 표준편차 1.6의 정규분포를 따른다.
- [0165] 여기서, 채광비용의 상당부분을 차지하는 운반비용을 절감하기 위해서는 운반시스템을 구성하는 요소들의 배치 계획과 시스템에 투입되는 장비의 수와 성능이 적절한 조화를 이루어야 한다.
- [0167] 이에, 본 발명에서는, 연구지역의 현장조건을 반영한 시뮬레이션을 통하여 시스템에 투입되어야 할 장비의 성능과 수를 최적화하는 시뮬레이션방법을 제시하였다.
- [0169] 즉, 도 7을 참조하면, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 성능을 검증하기 위해, 현장조건을 반영하여 설정한 시뮬레이션 인자값들을 표로 정리하여 나타낸 도면이다.
- [0171] 계속해서, 상기한 바와 같이 현장조건을 반영한 시뮬레이션을 통하여 작업장별로 배치되는 트럭 수의 최적화를 수행한 결과에 대하여 설명한다.
- [0173] 즉, 본 발명자들은 연구지역의 트럭-로더 운반시스템에 투입되는 트럭의 수에 따라 달라지는 시스템의 특성을 알아보기 위해 본 발명의 실시예에 따른 시뮬레이션 알고리즘과 현장조사 자료를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.
- [0175] 더 상세하게는, 시뮬레이션 기간은 현장의 작업여건을 반영하여 하루 8시간 30분의 작업을 기준으로 1,000일간

으로 설정하였으며, 시스템에 투입되는 트럭의 배차간격은 3분으로 하여 시뮬레이션이 시작되면 3분에 1대씩 트럭이 순차적으로 투입되도록 하였다.

- [0177] 이는, 시뮬레이션 초기에 트럭들이 한 번에 투입되어 생성되는 과도한 대기행렬과 대기시간을 방지하기 위한 것이며, 현장의 실제 운영조건을 반영한 것이다.
- [0179] 또한, 시스템에 투입되는 로더의 수는 각 적재지점(470, 540, 590갱) 별로 1대씩, 야적장과 파쇄장 사이를 왕복 하며 적재-운반 작업을 하는 로더 1대, 트럭의 수는 총 14대로 현장 상황과 동일하게 적용하였으며, 트럭들은 각 적재지점별로 0대에서 최대 14대까지 투입될 수 있고, 총 트럭의 수는 14대를 초과할 수 없도록 설정하였다.
- [0181] 상기한 바와 같이 하여 각 적재지점별로 트럭의 수를 달리 적용시켜 가며 총 120회의 시뮬레이션이 수행되었으며, 여기서, 120회는 시뮬레이션 조건에 제시된 트럭의 수를 고려했을 때 적용 가능한 모든 조합의 수를 의미한다.
- [0183] 아울러, 시뮬레이션 결과는 하루 평균 생산량을 기준으로 정렬하였으며, 결과의 일부를 표로 나타내었다.
- [0185] 즉, 도 8을 참조하면, 도 8은 작업장별로 배치되는 트럭 수의 최적화를 위해 상기한 바와 같은 현장 조건을 반영하여 수행된 시뮬레이션 결과를 표로 정리하여 나타낸 도면이다.
- [0187] 도 8에 나타난 바와 같이, 시뮬레이션 결과, 연구지역의 운반시스템에는 각 적재지점 별로 4대(470갱), 9대(540갱), 1대(590갱)의 트럭을 투입하는 것이 생산성 측면(3,616 ton/day)에서 가장 유리하게 나타났음을 확인할 수 있으나, 이 경우 540갱의 로더와 파쇄기의 이용률이 70%를 초과하기 때문에 적재 또는 파쇄작업 이외에 수행해야 하는 작업(작업장 정비, 장비 이동 등)들을 고려한다면 이 결과를 현장에서 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다.
- [0189] 따라서 적용 가능한 장비의 이용률을 70%로 제한하여 각 적재지점별로 4대(470갱), 7대(540갱), 3대(590갱)의 트럭을 투입하는 것이 합리적이라고 판단되며, 이 경우 하루에 3,588톤의 광석을 생산하게 된다.
- [0191] 즉, 시뮬레이션 결과는 대체적으로 가장 가까운 적재지점인 540갱에 비교적 많은 트럭이 투입될수록 생산량이 높게 나타내고, 반대로 적은 수의 트럭이 투입될수록 광석의 생산량이 낮은 경향을 나타내며, 트럭들이 특정한 적재지점에 편중되면 그 적재지점의 장비 이용률, 트럭의 대기시간 또한 높게 나타나는 것을 나타내고 있다.
- [0193] 또한, 도 9를 참조하면, 도 9는 연구현장에서 실제 측정에 의해 얻어진 결과를 표로 정리하여 나타내는 도면이다.
- [0195] 즉, 2014년 8월 현장조사 당시, 현장에서는 각 적재지점별로 4대(470갱), 6대(540갱), 4대(590갱)의 트럭을 운반시스템에 투입하고 있었으며, 현장에서 측정한 하루 생산량과 각 적재지점의 로더에서 발생하는 트럭의 평균 대기시간은 도 9에 나타난 바와 같다.
- [0197] 아울러, 실제 현장에서는 하루 8시간 30분의 작업시간 동안 3,575톤의 광석을 생산하였으며, 이는 도 8에 나타난 시뮬레이션 결과(3,558톤)와 비교했을 때 매우 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

- [0199] 아울러, 현장의 적재지점에서 측정한 트럭의 대기시간은 0.32분(470갱), 0.79분(540갱), 0.88분(590갱)으로 시뮬레이션 결과인 0.70분(470갱), 1.11분(540갱), 0.69분(590갱)과 매우 유사하게 나타났음을 확인할 수 있다.
- [0201] 다음으로, 상기한 바와 같이 현장조건을 반영한 시뮬레이션을 통하여 목표 생산량 충족을 위한 트럭 수의 최적화를 수행한 결과에 대하여 설명한다.
- [0203] 일반적으로, 광산의 생산량은 광석 판매단가의 변동, 수요 증가 혹은 감소 등에 의해 조절되므로, 광산 기술자들은 이러한 변화에 따라 최적의 장비 조합을 결정하고 시스템에 투입해야 한다.
- [0205] 이를 위해, 본 발명에서는, 광석의 수요증가 및 판매단가의 상승 등의 이유로 연구지역의 목표 생산량을 5,000톤으로 증가시켰을 때 가장 최적의 장비 조합을 찾기 위한 시뮬레이션을 수행하였다.
- [0207] 더 상세하게는, 시뮬레이션 기간을 하루 8시간 30분의 작업시간을 기준으로 1,000일간으로 설정하고, 운반시스템에 투입되는 총 트럭의 수를 15대에서 21대까지 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.
- [0209] 시뮬레이션 결과, 운반시스템에 20대 이하의 트럭이 투입될 경우에는 어떠한 장비 조합을 선택하더라도 목표 생산량인 5,000톤을 충족시킬 수 없었으나, 반면, 시스템에 총 21대의 트럭을 투입할 경우 총 253개의 장비 조합 중 39개의 장비조합이 목표생산량을 만족시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 각 적재지점에 8대(470갱), 8대(540갱), 5대(590갱)의 트럭을 투입하여 운반시스템을 운영하는 것이 생산성 측면에서 가장 유리한 것으로 나타났음을 확인할 수 있다.
- [0211] 그러나 생산량을 만족시키는 모든 조합들의 로더 혹은 파쇄기 이용률이 70%를 초과하기 때문에 결과들을 실제 현장에 적용하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단되며, 실제로 시뮬레이션 결과 모든 조합의 파쇄기 이용률은 70%를 초과하는 것으로 나타났다.
- [0213] 즉, 도 10을 참조하면, 도 10은 파쇄기의 성능 개선시 생산량과 장비(로더와 파쇄기)의 이용률을 모두 만족시킬 수 있는 조합을 표로 정리하여 나타낸 도면이다.
- [0215] 도 10에 나타난 바와 같이, 총 253개의 조합 중 14개의 조합만이 파쇄기의 이용률을 제외하고 가정한 모든 조건들을 만족시킬 수 있는 것으로 분석되었다.
- [0217] 또한, 도 11을 참조하면, 도 11은 파쇄기 이용률을 감소시키기 위해 파쇄기의 성능을 400톤(200톤×2)에서 500톤(250톤×2)으로 증가시켜 수행한 시뮬레이션 결과를 표로 정리하여 나타낸 도면이다.
- [0219] 더 상세하게는, 도 10과 도 11에 나타난 결과를 각각 비교해 보면, 도 11에 나타난 결과에 있어서 파쇄기의 이용률은 약 10% 정도 감소하여 70% 이하를 유지할 수 있는 것으로 분석되었으며, 트럭의 대기시간, 대기행렬 길이, 생산량 등이 도 10에 나타난 결과와 비교했을 때 미세한 차이를 보이는 것으로 나타났다.
- [0221] 따라서 연구지역에서는 광석의 하루 생산량을 5,000톤으로 증가시킬 경우 25톤 트럭 7대를 추가적으로 투입하고, 파쇄기 처리용량을 500톤으로 증가시켜야 생산량과 장비이용률 제한조건을 모두 만족시키면서 트럭-

로더 운반시스템을 운영할 수 있을 것으로 판단된다.

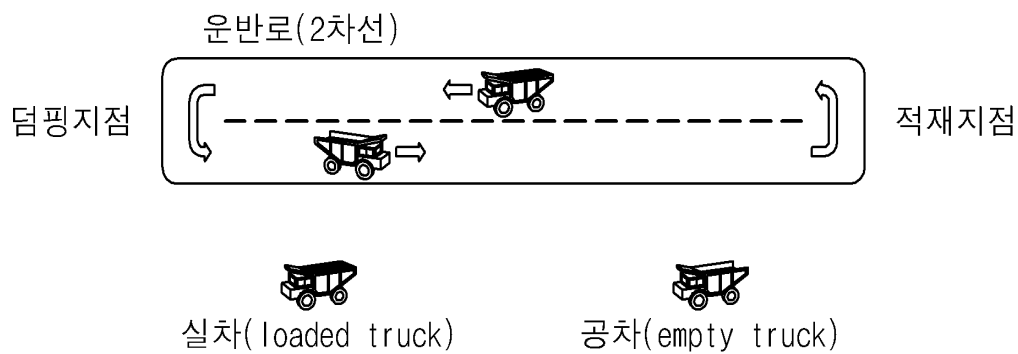
- [0223] 이상, 상기한 바와 같이 하여, 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 구현할 수 있다.
- [0225] 즉, 도 12를 참조하면, 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다.
- [0227] 도 12에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법은, 크게 나누어, 시뮬레이션을 수행하기 위해 필요한 인자값(파라미터)들을 입력하고 시뮬레이션 시간 등과 같은 세부 조건을 설정하는 입력단계(S110)와, 입력단계(S110)에서 입력된 정보에 근거하여 적재-운반 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행하는 시뮬레이션단계(S120)와, 시뮬레이션단계(S120)를 통하여 얻어진 시뮬레이션 결과를 출력하는 출력단계(S130) 및 출력단계(S130)에서 제공된 정보에 근거하여 운반시스템의 최적화를 수행하는 최적화단계(S140)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0229] 여기서, 상기한 입력단계(S110) 및 출력단계(S130)는, 도 3을 참조하여 상기한 바와 같이, 먼저, 상기한 입력단계(S110)의 입력자료로서, 시뮬레이션 수행을 위한 인자값(투입될 장비의 수, 시뮬레이션 기간, 하루 작업시간 등), 시간 관련 인자값(트럭의 초기 배차시간 간격, 각 단위작업들의 소요시간 등), 경제성 분석을 위한 인자값(각 장비의 운영비, 광석의 판매단가 등)이 입력될 수 있다.
- [0231] 또한, 상기한 출력단계(S130)의 출력자료로는, 운반경도에서 트럭의 양보 횟수, 장비의 이용률, 각 장비에서 트럭의 대기행렬길이, 평균대기시간, 하루 평균 운반횟수, 하루 평균 운광량 등의 정보가 제공되도록 구성될 수 있다.
- [0233] 아울러, 상기한 시뮬레이션단계(S120)는 도 4를 참조하여 상기한 바와 같은 일련의 처리 알고리즘을 컴퓨터를 통하여 실행시키는 단계로 구성될 수 있으며, 이때, 각각의 적재지점마다 병렬구조로 시뮬레이션이 각각 수행되도록 구성됨으로써, 시뮬레이션하고자 하는 현장 조건에 따라 사용자가 적재지점의 수를 적절하게 설정할 수 있도록 구성될 수 있다.
- [0235] 더욱이, 상기한 최적화단계(S140)는, 출력단계(S130)에서 제공된 정보에 근거하여 최적의 장비 투입량을 결정하는 것에 의해 생산성과 수익성을 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영계획을 수립하는 단계로 구성될 수 있다.
- [0237] 따라서 상기한 바와 같이 하여 본 발명에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법을 구현할 수 있다.
- [0239] 또한, 상기한 바와 같이 하여 본 발명에 따른 이지무스 추진기의 토크 및 추력 측정장치를 구현하는 것에 의해, 본 발명에 따르면, 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반시스템을 모두 시뮬레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영방안을 제시할 수 있도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법이 제공됨으로써, 장비의 제원, 작업의 소요시간, 수익 및 비용, 광산의 운영조건 등의 자료를 이용하여 시스템에 투입될 적재 또는 운반장비들의 성능과 수를 적절하게 결정할 수 있으며, 그것에 의해, 복잡한 광산의 운반 시스템을 보다 용이하게 이해하고 효율적인 운영 및 관리가 가능해진다.

[0241] 아울러, 본 발명에 따르면, 상기한 바와 같이 1차선 및 2차선 도로로 이루어진 노천 및 지하광산의 적재-운반 시스템을 모두 시뮬레이션할 수 있도록 구성되어 생산성 및 수익성을 모두 고려한 최적의 적재-운반 시스템 운영 방안을 제시할 수 있도록 구성되는 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법이 제공됨으로써, 2차선 도로로 구성된 노천광산에 대하여만 시뮬레이션이 가능하고 대부분의 운반로가 1차선 도로로 이루어진 지하광산의 적재-운반시스템에 대한 시뮬레이션은 불가능한 한계가 있었던 종래기술의 적재-운반 시스템 시뮬레이션 기법의 문제점을 해결할 수 있다.

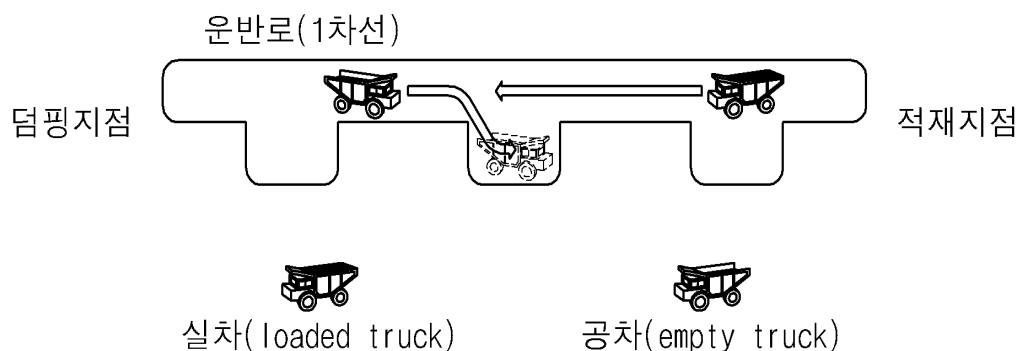
[0243] 이상, 상기한 바와 같은 본 발명의 실시예를 통하여 본 발명에 따른 노천 및 지하광산 트럭-로더 운반시스템의 최적화를 위한 시뮬레이션방법의 상세한 내용에 대하여 설명하였으나, 본 발명은 상기한 실시예에 기재된 내용으로만 한정되는 것은 아니며, 따라서 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 설계상의 필요 및 기타 다양한 요인에 따라 여러 가지 수정, 변경, 결합 및 대체 등이 가능한 것임은 당연한 일이라 하겠다.

도면

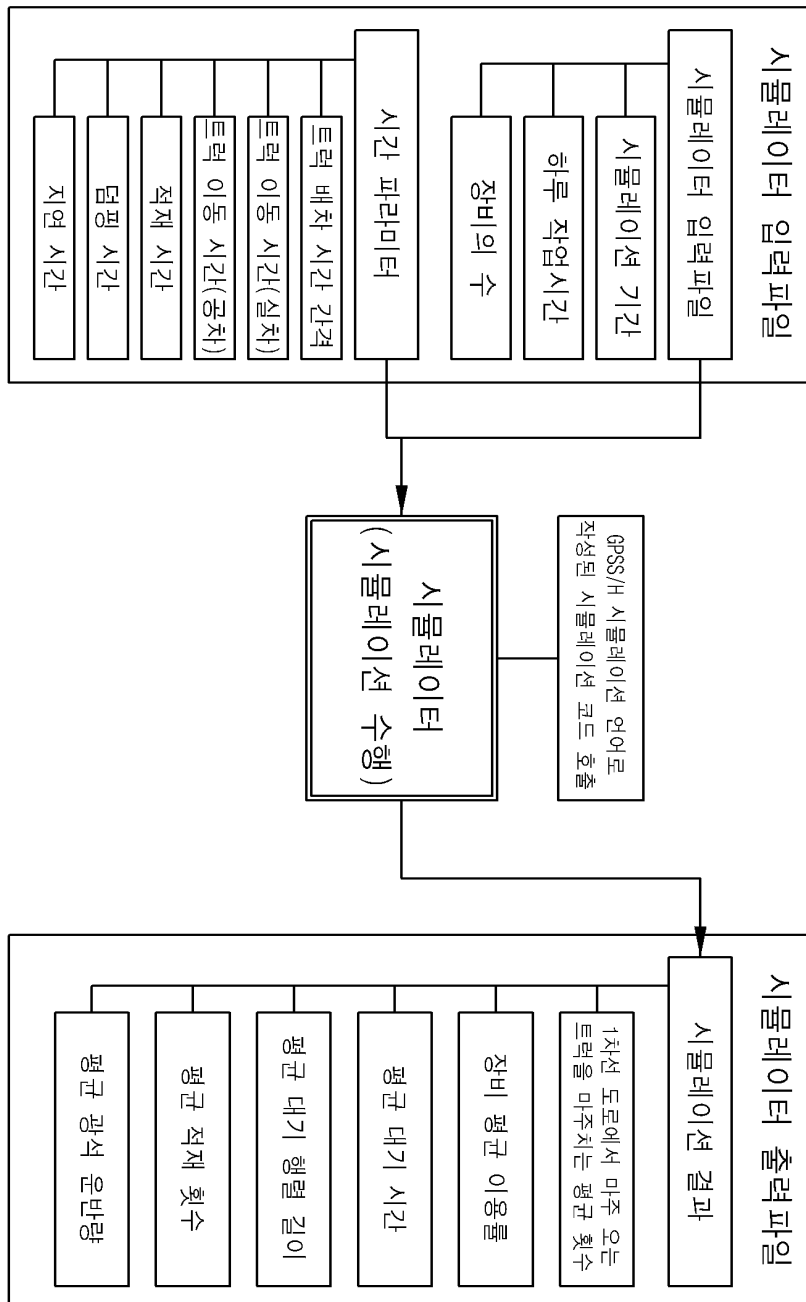
도면1



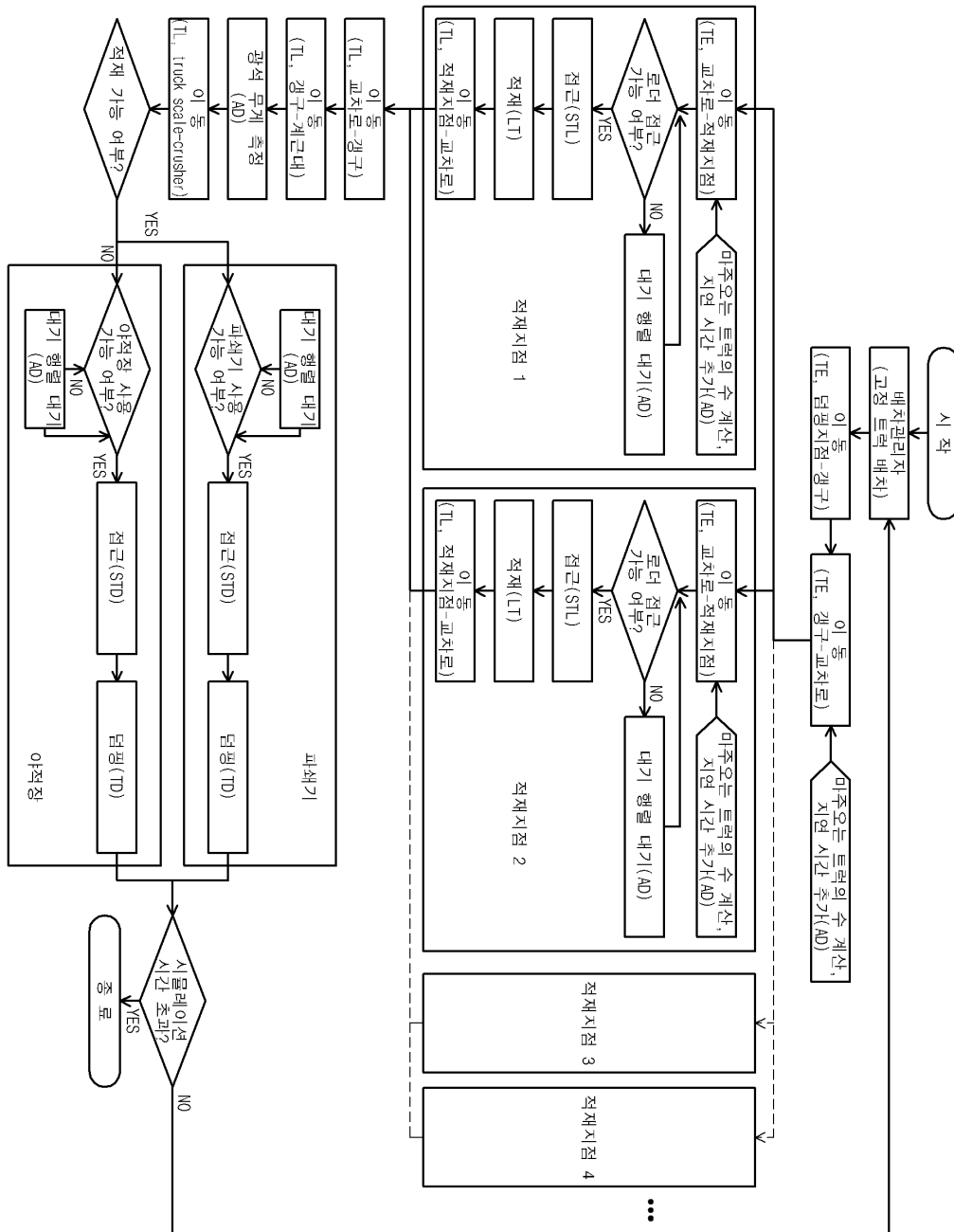
도면2



도면3



도면4



도면5

```

DS1410073.GPS - 메모장
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)
*****
*          LOADING POINT : (A)          *
*****
GTA      GENERATE  &TDIA,,D,&TRUCKA
          BLET      &ODD1=0
RCA      ENTER      RCP
          ADVANCE    RVNORM(1,4.28,0.77)
          LEAVE      RCP
          BLET      &NTJP=S(RJP)
          BLET      &NDJPA=&NDJPA+S(RJP)
          BLET      &DTPJA=&NTJP+RVNORM(1,0.62,0.12)
          ENTER      RPJ
          ADVANCE    RVNORM(1,4.54,0.72)
          ADVANCE    &DTPJA
          LEAVE      RPJ
          BLET      &NTAJ=#(RAC)
          BLET      &NDAJ=#(RAC)
          BLET      &DTJA=&NTAJ+RVNORM(1,0.62,0.12)
          ADVANCE    RVNORM(1,6.88,0.60)
          ADVANCE    &DTJA
          QUEUE      QLPA
          TEST E     FNU(SHOVELA),1,#SQA
          SEIZE      SHOVELA
          DEPART     QLPA
          ADVANCE    RVNORM(1,0.49,0.09)
          ADVANCE    RVEXPO(1,2.94/3)
          ADVANCE    RVEXPO(1,2.94/3)
          ADVANCE    RVEXPO(1,2.94/3)
          RELEASE    SHOVELA
#SQA     TRANSFER   ,RAC
          GATE FNU   SHOVELA
          SEIZE      SHOVELA
          DEPART     QLPA
          ADVANCE    RVNORM(1,0.8,0.16)

```

도면6

```

관리자: C:\Windows\system32\cmd.exe
=====
== >> RESULTS SIMULATION OF LIMESTONE UNDERGROUND MINE <DSMDI> <<
==
== SIMULATION FOR 1 DAYS < 1000 REPLICATES >
== TRUCK DISPATCH INTERVAL : A< 3.0 MIN >, B< 3.0 MIN >, C< 3.0 MIN >
== NUMBER OF TRUCKS WORKING IN THE MINE : A< 5 >, B< 7 >, c< 2 >
==
== AUG. NUMBER OF MAKING WAY FOR OTHER TRUCKS < PORTAL <-> JUNCTION >          1.949
== AUG. NUMBER OF MAKING WAY FOR OTHER TRUCKS < JUNCTION <-> 470ML >          0.821
== AUG. NUMBER OF MAKING WAY FOR OTHER TRUCKS < JUNCTION <-> 540ML >          1.053
== AUG. NUMBER OF MAKING WAY FOR OTHER TRUCKS < JUNCTION <-> 590ML >          0.067
==
== UTILIZATION OF LOADER
== AUG. TIME IN THE QUEUE < LOADER >          0.884
== 470ML AUG. QUEUE LENGTH < LOADER >          0.088
== MAX. QUEUE LENGTH < LOADER >          1.988
== AUG. NUMBER OF LOADING < LOADER >          50.597
== UTILIZATION OF LOADER
== AUG. TIME IN THE QUEUE < LOADER >          1.383
== 540ML AUG. QUEUE LENGTH < LOADER >          0.221
== MAX. QUEUE LENGTH < LOADER >          2.613
== AUG. NUMBER OF LOADING < LOADER >          81.607
== UTILIZATION OF LOADER
== AUG. TIME IN THE QUEUE < LOADER >          0.281
== 590ML AUG. QUEUE LENGTH < LOADER >          0.011
== MAX. QUEUE LENGTH < LOADER >          1.000
== AUG. NUMBER OF LOADING < LOADER >          19.982
== UTILIZATION OF CRUSHER
== AUG. TIME IN THE QUEUE < CRUSHER >          0.012
== AUG. QUEUE LENGTH < CRUSHER >          0.002
== MAX. QUEUE LENGTH < CRUSHER >          1.102
== UTILIZATION OF DUMP AREA
== AUG. TIME IN THE QUEUE < DUMP AREA >          0.238
== AUG. QUEUE LENGTH < DUMP AREA >          0.036
== MAX. QUEUE LENGTH < DUMP AREA >          2.103
== TRUCKS LOADED DURING THE DAY          152.186
== LIMESTONE MINED PER DAY          3587.246
== AUG. DAILY PROFIT          32671.140
=====
D:\Wolverine\GPSSH>

```

도면7

Parameter			Value		
Simulation parameter	Number of days to simulate for		1000 (day)		
	Daily working time for each day		480 (min)		
	Truck dispatch interval		3 (min)		
	Capacity of each truck		25 ± 5 (ton)		
	Capacity of each loader		8 ± 1.6 (ton)		
Time parameter	At loader	Waiting time in the queue (470ML)		0.32 ± 0.09 (min)	
		Waiting time in the queue (540ML)		0.79 ± 0.14 (min)	
		Waiting time in the queue (590ML)		0.88 ± 0.25 (min)	
		Spotting time (wait in the queue)		0.80 ± 0.16 (min)	
		Spotting time (no wait in the queue)		0.49 ± 0.09 (min)	
		Loading time		2.94 ± 0.58 (min)	
	At crusher	Waiting time in the queue		0.84 ± 0.16 (min)	
		Spotting time (wait in the queue)		0.87 ± 0.17 (min)	
		Spotting time (no wait in the queue)		0.47 ± 0.09 (min)	
		Dumping time		0.59 ± 0.11 (min)	
	At dump area	Spotting time		0.76 ± 0.15 (min)	
		Dumping time		0.59 ± 0.11 (min)	
	On road	Loaded truck	Travel time (loading point 470ML-junction)		10.45 ± 0.44 (min)
			Travel time (loading point 540ML-junction)		7.10 ± 0.90 (min)
			Travel time (loading point 590ML-junction)		12.78 ± 0.79 (min)
			Travel time (junction-opening)		7.59 ± 0.84 (min)
			Travel time (opening-crusher)		6.26 ± 0.70 (min)
		Empty truck	Return time (crusher-opening)		4.28 ± 0.77 (min)
			Return time (opening-junction)		4.54 ± 0.72 (min)
			Return time (junction-loading point 470ML)		6.88 ± 0.60 (min)
			Return time (junction-loading point 540ML)		5.00 ± 0.61 (min)
			Return time (junction-loading point 590ML)		9.80 ± 0.43 (min)
	Etc.	Time for measuring the weigh or cleaning the wheel		0.37 ± 0.07 (min)	
		Waiting time for a truck during travelling (due to oncoming trucks)		0.62 ± 0.12 (min)	
Economic parameter	Daily operation cost for each loader		392.59 (USD/day)		
	Daily operation cost for crusher		1085.94 (USD/day)		
	Cost per ton of hauled ores		1.42 (USD/ton)		
	Price per ton of ores		11.80 (USD/ton)		

도면8

Case ID	Number of trucks			At ramp way			At loader									At crusher			At dump area		Avg. tons of loaded ore (tons)
				Avg. number of making way for other trucks			470ML			540ML			590ML								
	470 ML	540 ML	590 ML	Junction - 470ML	Junction - 540ML	Junction - 590ML	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Avg. waiting time	Avg. queue length	
1	4	9	1	2.57	3.42	0.00	28.10	0.71	0.06	71.79	2.22	0.44	6.76	0.00	0.00	72.74	0.01	0.00	0.21	0.03	3615.69
2	4	8	2	2.53	3.20	2.65	28.07	0.71	0.06	64.40	1.76	0.32	13.62	0.27	0.01	71.09	0.01	0.00	0.24	0.04	3608.46
3	3	9	2	2.33	3.41	2.10	21.20	0.51	0.03	71.81	2.22	0.44	13.59	0.27	0.01	72.00	0.01	0.00	0.22	0.03	3606.78
4	5	8	1	2.85	3.25	0.00	35.11	0.89	0.09	64.35	1.72	0.31	6.75	0.00	0.00	72.37	0.01	0.00	0.21	0.03	3604.37
5	5	9	0	2.92	3.46	0.00	35.06	0.87	0.09	71.79	2.20	0.44	0.00	0.00	0.00	73.78	0.01	0.00	0.18	0.03	3603.47

11	4	7	3	2.48	2.98	2.14	28.07	0.71	0.06	56.86	1.41	0.23	20.27	0.50	0.03	69.30	0.01	0.00	0.25	0.04	3588.15
12	5	7	2	2.77	3.00	2.02	35.02	0.88	0.09	56.79	1.38	0.22	13.60	0.28	0.01	70.37	0.01	0.00	0.24	0.04	3587.25
13	6	7	1	3.15	3.07	0.00	41.74	1.03	0.12	56.88	1.37	0.22	6.73	0.00	0.00	71.79	0.01	0.00	0.20	0.03	3586.21
14	2	10	2	2.20	3.61	2.15	14.16	0.27	0.01	78.78	2.83	0.62	13.55	0.28	0.01	72.95	0.01	0.00	0.18	0.03	3583.64
15	3	7	4	2.28	3.01	2.37	21.04	0.50	0.03	56.83	1.40	0.22	26.86	0.72	0.06	69.00	0.01	0.00	0.23	0.04	3580.48
16	2	8	4	2.13	3.22	2.42	14.21	0.25	0.01	64.64	1.73	0.31	26.81	0.73	0.06	70.00	0.01	0.00	0.20	0.03	3579.77
17	1	9	4	0.00	3.43	2.43	7.16	0.00	0.00	71.94	2.18	0.44	26.88	0.74	0.06	70.86	0.01	0.00	0.17	0.03	3566.53
18	7	7	0	3.49	3.10	0.00	48.49	1.19	0.16	57.05	1.36	0.22	0.00	0.00	0.00	72.90	0.01	0.00	0.17	0.03	3563.95
19	1	8	5	0.00	3.25	2.68	7.13	0.00	0.00	64.56	1.70	0.31	33.14	0.90	0.09	69.45	0.01	0.00	0.18	0.03	3559.62
20	4	6	4	2.47	2.80	2.34	28.05	0.70	0.06	49.22	1.11	0.15	26.93	0.69	0.05	67.50	0.01	0.00	0.24	0.04	3557.53
21	1	10	3	0.00	3.60	2.27	7.12	0.00	0.00	78.82	2.83	0.62	20.42	0.53	0.03	72.25	0.01	0.00	0.16	0.02	3557.40
22	2	7	5	2.12	3.04	2.66	14.28	0.28	0.01	57.07	1.39	0.22	33.08	0.89	0.08	68.39	0.01	0.00	0.20	0.03	3556.29
23	5	6	3	2.74	2.79	2.11	34.92	0.86	0.09	49.19	1.11	0.15	20.41	0.52	0.03	68.27	0.01	0.00	0.25	0.04	3554.14
24	6	6	2	3.09	2.82	2.00	41.75	1.02	0.12	49.13	1.12	0.16	13.60	0.30	0.01	69.75	0.01	0.00	0.23	0.03	3551.09
25	3	11	0	2.44	3.76	0.00	21.16	0.47	0.03	84.97	3.78	0.88	0.00	0.00	0.00	74.62	0.01	0.00	0.15	0.02	3550.11

116	2	0	12	1.91	0.00	4.39	14.48	0.26	0.01	0.00	0.00	0.00	75.63	2.73	0.57	51.87	0.00	0.00	0.10	0.01	2999.17
117	0	1	13	0.00	0.00	4.61	0.00	0.00	0.00	8.49	0.00	0.00	80.75	3.38	0.76	51.82	0.00	0.00	0.09	0.01	2956.69
118	1	0	13	0.00	0.00	4.58	7.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.97	3.42	0.76	51.04	0.00	0.00	0.08	0.01	2906.80
119	14	0	0	4.90	0.00	0.00	89.24	5.34	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.68	0.00	0.00	0.05	0.00	2898.67
120	0	0	14	0.00	0.00	4.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.66	4.39	1.03	49.76	0.00	0.00	0.06	0.01	2796.53

도면9

Level	Waiting time at loader(min)	Ore mined per day(ton)
490 ML	0.32	3,575
540 ML	0.79	
590 ML	0.88	

도면10

Case ID	Number of trucks			At ramp way			At loader									At crusher			At dump area		Avg. tons of loaded ore (tons)
				Avg. number of making way for other trucks			470ML			540ML			590ML								
	470 ML	540 ML	590 ML	Junction - 470ML	Junction - 540ML	Junction - 590ML	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length			
1	8	8	5	4.58	4.11	3.47	54.32	1.49	0.23	63.45	1.73	0.31	32.50	1.00	0.09	77.15	0.02	0.00	0.41	0.11	5079.45
2	7	8	6	4.28	4.11	3.78	47.78	1.31	0.18	63.47	1.74	0.31	38.70	1.14	0.13	76.36	0.02	0.00	0.41	0.11	5071.23
3	9	8	4	4.90	4.13	3.31	60.50	1.71	0.29	63.56	1.71	0.30	26.19	0.78	0.06	78.01	0.02	0.00	0.38	0.10	5066.78
4	6	8	7	4.00	4.11	4.12	41.42	1.12	0.13	63.37	1.73	0.31	45.03	1.26	0.16	76.01	0.02	0.00	0.38	0.10	5061.95
5	8	7	6	4.56	3.94	3.74	54.25	1.52	0.23	55.91	1.35	0.21	38.79	1.18	0.13	76.16	0.02	0.00	0.40	0.10	5049.35
6	9	7	5	4.88	3.95	3.52	60.56	1.73	0.29	55.91	1.36	0.21	32.50	0.98	0.09	77.06	0.02	0.00	0.38	0.10	5045.98
7	10	8	3	5.19	4.14	3.15	66.80	2.00	0.37	63.55	1.72	0.31	19.91	0.51	0.03	78.69	0.02	0.00	0.35	0.09	5042.56
8	5	8	8	3.76	4.12	4.46	34.68	0.88	0.09	63.47	1.73	0.31	51.12	1.42	0.20	75.72	0.02	0.00	0.36	0.09	5037.83
9	7	7	7	4.29	3.94	4.10	47.87	1.29	0.17	56.01	1.38	0.22	44.89	1.26	0.16	75.61	0.02	0.00	0.38	0.10	5031.97
10	10	7	4	5.17	3.97	3.33	66.62	1.98	0.37	55.93	1.36	0.21	26.17	0.72	0.05	77.89	0.02	0.00	0.36	0.09	5024.87
11	6	7	8	4.02	3.95	4.43	41.42	1.06	0.12	55.98	1.37	0.22	51.03	1.40	0.20	75.39	0.02	0.00	0.35	0.09	5018.69
12	4	8	9	3.49	4.13	4.75	27.64	0.68	0.05	63.39	1.70	0.30	57.30	1.58	0.25	75.37	0.02	0.00	0.34	0.09	5012.56
13	9	6	6	4.86	3.77	3.77	60.44	1.73	0.29	48.33	1.08	0.15	38.75	1.15	0.13	75.88	0.02	0.00	0.38	0.09	5002.53
14	8	6	7	4.57	3.75	4.07	54.26	1.49	0.23	48.46	1.08	0.15	45.07	1.31	0.17	75.09	0.02	0.00	0.37	0.09	5001.05

도면11

Case ID	Number of trucks			At ramp way			At loader									At crusher			At dump area		Avg. tons of loaded ore (tons)
				Avg. number of making way for other trucks			470ML			540ML			590ML								
	470 ML	540 ML	590 ML	Junction - 470ML	Junction - 540ML	Junction - 590ML	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Utilizati on	Avg. waiting time	Avg. queue length	Avg. waiting time	Avg. queue length	
1	8	8	5	4.59	4.11	3.48	54.29	1.53	0.23	63.71	1.77	0.31	32.62	1.03	0.10	65.62	0.02	0.00	0.37	0.08	5080.89
2	7	8	6	4.27	4.10	3.76	47.91	1.34	0.18	63.69	1.78	0.32	38.71	1.17	0.13	64.70	0.02	0.00	0.37	0.09	5080.17
3	9	8	4	4.91	4.13	3.29	60.62	1.72	0.29	63.52	1.74	0.31	26.17	0.77	0.06	66.73	0.02	0.00	0.34	0.08	5073.31
4	6	8	7	4.01	4.12	4.13	41.38	1.10	0.13	63.46	1.75	0.31	45.05	1.27	0.16	64.18	0.02	0.00	0.34	0.08	5064.78
5	8	7	6	4.59	3.95	3.76	54.14	1.50	0.23	56.07	1.35	0.21	38.88	1.19	0.13	64.49	0.02	0.00	0.35	0.08	5053.23
6	9	7	5	4.88	3.96	3.50	60.62	1.74	0.30	56.04	1.37	0.22	32.53	1.01	0.09	65.51	0.02	0.00	0.34	0.08	5052.29
7	10	8	3	5.21	4.15	3.16	66.58	1.95	0.37	63.66	1.73	0.31	19.95	0.51	0.03	67.44	0.02	0.00	0.31	0.07	5047.50
8	5	8	8	3.74	4.12	4.46	34.57	0.91	0.09	63.58	1.75	0.31	51.20	1.39	0.20	63.63	0.02	0.00	0.32	0.07	5045.69
9	7	7	7	4.29	3.94	4.08	47.95	1.30	0.18	56.17	1.40	0.22	45.11	1.30	0.17	63.74	0.02	0.00	0.34	0.08	5040.54
10	10	7	4	5.19	3.97	3.34	66.82	2.00	0.37	56.03	1.38	0.22	26.21	0.73	0.06	66.37	0.02	0.00	0.32	0.07	5032.34
11	6	7	8	4.02	3.95	4.43	41.47	1.09	0.13	56.11	1.37	0.22	51.21	1.40	0.20	63.13	0.02	0.00	0.31	0.07	5020.16
12	4	8	9	3.49	4.14	4.76	27.73	0.72	0.06	63.47	1.71	0.31	57.43	1.61	0.26	62.95	0.02	0.00	0.30	0.07	5017.23
13	9	6	6	4.86	3.77	3.78	60.55	1.76	0.30	48.53	1.08	0.15	38.84	1.15	0.13	64.11	0.02	0.00	0.33	0.07	5007.06
14	8	6	7	4.57	3.76	4.07	54.17	1.51	0.23	48.39	1.08	0.15	44.96	1.31	0.17	63.14	0.02	0.00	0.33	0.07	5002.68

도면12

