

노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템의 장비선택을 위한 Windows용 시뮬레이션 프로그램 개발 박세범, 이성재, 최요순*, 박한수

Development of a Windows-based Simulation Program for Selecting Equipments in Open-pit Shovel-Truck Haulage Systems

Sebeom Park, Sungjae Lee, Yosoon Choi*, Han-Su Park

Abstract This study developed a Windows-based simulation program for selecting equipments in open-pit shovel-truck haulage systems. Visual Basic.NET 2012 was used to develop the graphic user interface (GUI) and the GPSS/H simulation language was utilized to implement the simulation engine of program. When users establish simulation parameters through the GUI, the program calls the simulation engine to perform the simulations repeatedly. Then, it finds the optimal fleet of equipments required for operating the open-pit shovel-truck haulage systems efficiently. Application of the program to the Ssangyong open-pit limestone mine, Gangwon-do, Korea, showed that the daily average profit of shovel-truck haulage operation can be maximized (i.e. 88,552 USD) under following conditions: (a) 4 trucks are dispatched into each loading point and (b) a crusher with capacity of 1,500 tph is utilized.

Key words Open-pit mine, Shovel-truck haulage system, Equipment selection, GPSS/H

초 록 본 연구에서는 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템의 장비선택을 위해 활용할 수 있는 Windows용 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. Visual Basic.NET 2012를 이용하여 프로그램의 그래픽 사용자 인터페이스를 개발하였고, GPSS/H 시뮬레이션 언어를 이용하여 시뮬레이션 엔진을 구현하였다. 사용자가 그래픽 사용자 인터페이스를 통해 시뮬레이션 조건을 설정하면, 프로그램은 시뮬레이션을 반복적으로 수행하기 위해 시뮬레이션 엔진을 호출하며 운반 시스템을 가장 효율적으로 운영할 수 있는 장비의 조합을 분석하여 사용자에게 알려준다. 개발된 프로그램을 강원도에 위치한 (주) 쌍용자원개발 동해 석회석 노천광산에 적용한 결과 각각의 적재지점에 대하여 트럭을 4대씩 배치하고 1,500 tph 처리용량을 가진 파쇄기를 사용할 때 쇼벨-트럭 운반 작업의 하루 평균 수익을 88,552 USD로 최대화할 수 있는 것으로 나타났다.

핵심어 노천광산, 쇼벨-트럭 운반 시스템, 장비선택, GPSS/H

1. 서 론

노천광산의 계획시 광석과 폐석의 운반 시스템을 효

Received: Mar. 19, 2014

Revised: Apr. 24, 2014

Accepted: Apr. 24, 2014

***Corresponding Author:** Yosoon Choi

Tel) +82516296562, Fax) +82516296553

E-Mail) energy@pknu.ac.kr

Dept. of Energy Resources Engineering, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 608-737, Korea

율적으로 설계하고 시스템에 투입될 적재/운반 장비들의 성능과 수를 적절하게 선택하는 것은 매우 중요하다 (Berkhimer, 2011, Park et al., 2013). 이를 위해 해외에서는 경영관리(Operations Research, OR) 기술을 이용하여 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템에 투입될 장비들의 성능과 수를 최적화할 수 있는 다양한 시뮬레이션 프로그램들을 개발하였다(Bonates, 1996, Temeng, 1997, Aksoy and Yalcin, 2000, Krause and Musingwini, 2007, Ercelebi and Bascetin, 2009). 이들 프로그램 중 일부는 상용화에 성공하여 전 세계적으로 활용되고 있

다(예, WENCO Fleet Management System, <http://www.wencomine.com>). 그러나 국내 광산 현장에서는 시뮬레이션 분석을 통한 최적의 장비의 수와 성능을 결정하기 보다 경험에 근거하여 현장작업자의 판단 하에 장비를 결정하고 투입하고 있다(Park et al., 2014a). 또한, 상용 시뮬레이션 프로그램들은 매우 고가이기 때문에 규모가 영세한 국내 광산현장에서는 이러한 프로그램들을 쉽게 활용하는 것이 어려운 실정이다(Choi, 2011, Park and Choi, 2013).

최근 들어 국내에서도 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템의 시뮬레이션에 관한 연구가 수행되고 있다. Choi(2011)는 하나의 적재장과 하나의 파쇄장으로 구성된 노천채광장에서 쇼벨-트럭 운반 시스템을 시뮬레이션하여 채광장에 투입되어야 할 트럭의 수를 최적화할 수 있는 프로그램을 개발하였다. Choi와 Nieto(2011)는 쇼벨-트럭 운반 시스템 시뮬레이션 결과를 구글어스(Google Earth)를 통해 가시화할 수 있도록 Choi(2011)가 개발한 프로그램을 개선하였다. 그러나 이 프로그램은 매우 단순한 형태의 쇼벨-트럭 운반 시스템에서만 적용이 가능하며 다수의 적재장과 파쇄장으로 구성된 노천광산에서 트럭배차 방식이나 장비의 성능과 관련된 조건들을 고려하지 못하는 한계가 있다.

Park과 Choi(2013)는 쇼벨 및 트럭의 성능과 배차방식을 고려하여 운반 시스템을 시뮬레이션 할 수 있는 알고리즘을 개발하였고, Park 등(2014b)은 이 알고리즘을 개선하여 광산 운영 중 트럭의 고장발생 가능성과 파쇄기의 성능을 함께 고려할 수 있는 Windows 콘솔(console) 형식의 프로그램을 개발하였다. 그러나 이 연구에서 개발된 Windows 콘솔 프로그램은 시뮬레이션을 실행하기 위해 사용자가 명령어를 한 줄씩 직접 입력해야하며 최적의 장비의 수와 성능을 결정하기 위해서는 시뮬레이션 작업을 반복적으로 수행해야 한다. 따라서 시뮬레이션 알고리즘을 설계하거나 테스트하는 등의 목적으로는 활용될 수 있으나 광산현장의 실무 활용 목적으로는 부적합하다.

본 연구의 목적은 Park과 Choi(2013), Park 등(2014b)에서 제시한 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템 시뮬레이션 알고리즘을 현장에서 쉽게 활용할 수 있도록 Windows용 그래픽 사용자 인터페이스(Graphic User Interface, GUI) 프로그램을 개발하는 것이다. 사용자가 프로그램에 명령어를 직접 입력하는 것이 아니라 GUI를 통해 시뮬레이션 조건만 설정하면 프로그램이 자동으로 시뮬레이션을 반복 수행하고, 최적의 장비 조합을 결정하여 그 결과를 출력할 수 있는 프로그램을 개발할 것이다. 또한, 개발된 프로그램을 이용하여 (주)쌍용자원개발

동해사업소를 대상으로 사례연구를 수행하고 그 결과를 제시하고자 한다.

2. 프로그램 개발

본 연구에서 개발한 프로그램의 구조는 Fig. 1과 같다. 프로그램은 크게 GUI 부분과 시뮬레이션 엔진 부분으로 구성된다. 프로그램의 GUI는 Visual Basic.NET 2012을 이용하여 구현하였으며, 시뮬레이션 엔진의 개발에는 GPSS/H 시뮬레이션 언어를 사용하였다. GPSS/H에 관한 자세한 설명은 Park과 Choi(2013)를 참고하길 바란다.

개발된 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행하기 위한 절차는 다음과 같다. 먼저, 시뮬레이션을 수행하기 위한 전처리(pre-processing) 과정으로 사용자는 GUI를 통해 운반 시스템의 유형과 시뮬레이션 인자 및 제약조건을 설정한다. 전처리 결과를 반영하여 프로그램은 시뮬레이션 엔진에 입력될 파일을 자동으로 생성하며, 이때 생성되는 입력 파일은 GPSS/H 시뮬레이션 언어에서 사용되는 ASCII 파일 형식이다. 입력 파일이 생성되면 프로그램은 시뮬레이션 엔진을 호출하여 시뮬레이션을 수행(run simulation)한다. 시뮬레이션 결과는 파일로 저장되며 프로그램의 후처리(post-processing) 과정을 거쳐 GUI를 통해 출력된다(Fig. 1).

2.1 그래픽 사용자 인터페이스

개발된 프로그램의 GUI는 ‘Simulation Type’, ‘Parameter’, ‘Result’의 3가지 탭(tab)으로 구성된다. 사용자는 ‘Simulation Type’ 탭을 통해 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템의 광석 적재지점 수와 파쇄기 설치지점의 수를 입력하며 트럭들의 배차방식을 선택한다(Fig. 2(a)). 트럭의 배차방식은 트럭 대기행렬의 길이 변화를 실시간으

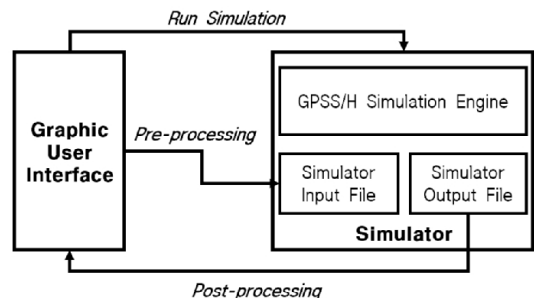
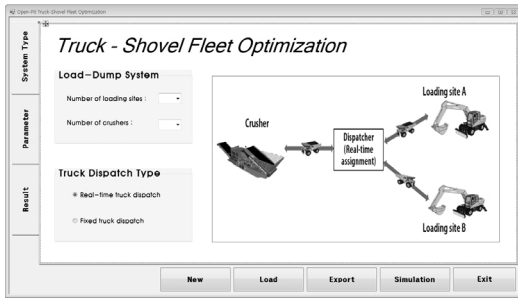
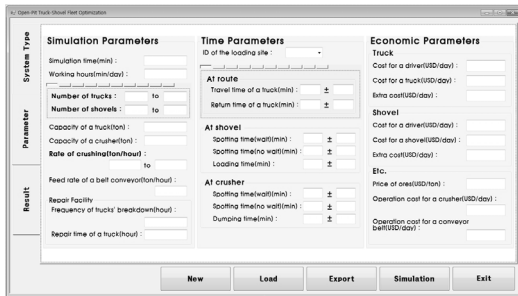


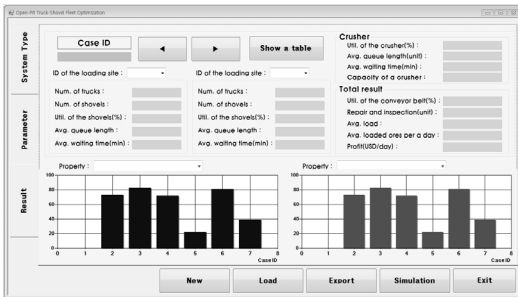
Fig. 1. Software architecture (modified from Choi(2011))



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. Graphic user interface of the developed program. (a) ‘Simulation Type’ tab. (b) ‘Parameter’ tab. (c) ‘Result’ tab

로 고려하여 트럭을 배차하는 ‘실시간 트럭배차 방식’과 적재지점 별로 배차될 트럭의 수를 미리 지정하는 ‘고정 트럭배차 방식’ 중 하나를 선택할 수 있다. 단, 쇼벨-트럭 운반 시스템에 적재지점과 파쇄지점이 각각 하나씩 존재할 경우에는 두 가지 배차방식 중 어떤 것을 선택하더라도 차이는 없다.

‘Parameter’ 탭에서는 시뮬레이션 조건, 시간연구 결과, 경제성 평가와 관련한 인자 값들을 설정할 수 있다 (Fig. 2(b)). 시뮬레이션 조건에 해당하는 트럭의 수, 쇼벨의 수, 파쇄기의 성능(운영속도), 시뮬레이션 기간, 하

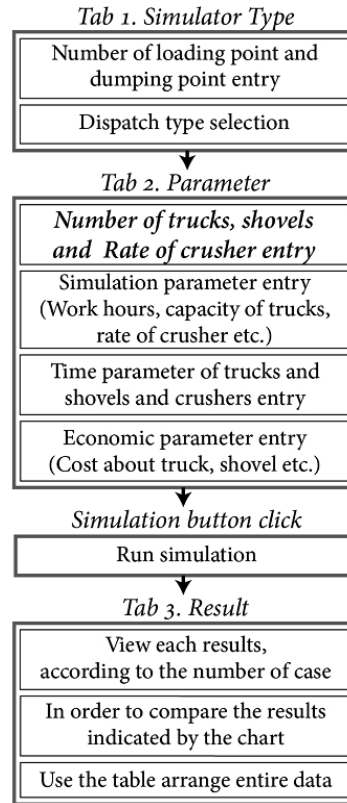


Fig. 3. Overall procedure for simulating open-pit truck-shovel haulage systems using the developed program

루 작업시간, 트럭 한 대의 처리용량, 파쇄기의 처리용량, 컨베이어 벨트 운영속도 등의 인자 값들이 GUI의 좌측 패널(panel)을 통해 프로그램에 입력된다. 또한, 중앙 패널과 우측 패널에는 장비들의 운영과 관련한 시간연구 결과와 경제성 평가와 관련한 인자 값들이 입력된다.

시뮬레이션 실행 후 생성되는 결과 파일은 GUI의 ‘Result’ 탭을 통해 화면으로 출력된다(Fig. 2(c)). 화면의 상단부에는 시뮬레이션 실행 번호에 해당하는 Case ID가 표시되며, 사용자는 좌, 우 이동 버튼을 이용하여 출력하고자 하는 Case ID를 선택할 수 있다. 선택된 Case ID에 해당하는 시뮬레이션 결과 값들(트럭의 수, 쇼벨의 수, 쇼벨의 이용률, 대기행렬의 평균 길이, 트럭 대기시간, 파쇄기 이용률, 컨베이어 벨트의 이용률, 고장 및 수리 횟수, 하루 평균 광석 운반량, 하루 평균 수의 등)은 GUI를 통해 화면에 숫자로 표시된다. 또한, 시뮬레이션 결과 값들을 차트를 이용해서 가시화하여 Case ID에 따른 값의 차이를 직관적으로 분석할 수 있

도록 한다. 사용자는 차트를 이용하여 시뮬레이션 결과 값들의 차이를 비교할 수 있으며, 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템의 운영을 위한 최적의 장비 조합을 결정할 수 있다.

GUI의 하단에는 New, Load, Export, Simulation, Exit 버튼이 있다. New 버튼은 프로그램을 초기화하기 위해 사용되며, Load 버튼은 기존에 저장된 파일로부터 시뮬레이션 인자 설정 값들을 불러오기 위해 사용된다. 반대로 Export 버튼은 시뮬레이션 인자 설정 결과를 파일로 저장할 수 있도록 한다. Simulation 버튼은 시뮬레이션 엔진을 호출하고 시뮬레이션을 실행하기 위해 사용되며, Exit 버튼을 누르면 프로그램이 종료된다. 사용자가 개발된 프로그램을 사용하기 위해 GUI를 통해 수행해야 하는 작업들을 절차에 따라 도식화하면 Fig. 3과 같다.

2.2 시뮬레이션 엔진

시뮬레이션 엔진은 Park 등(2014b)에서 제시한 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템 시뮬레이션 알고리즘을 Fig. 4와 같이 수정하여 GPSS/H 언어로 구현하였다. Park 등(2014b)에서 제시한 알고리즘에서는 입력 가능한 적재지점의 수가 최대 2개로 제한되었지만, Fig. 4와 같이 트럭의 배치방식 별로 알고리즘을 일부 확장한 결과 다수의 적재지점들을 시뮬레이션 조건으로 입력할 수 있었다.

본 연구에서 사용된 알고리즘은 Suboleski(1975)가 제안한 트럭순환시간이론에 근거하여 시뮬레이션을 수행한다(Eq. 1).

$$TCT = STL + LT + TL + STD + DT + TE + AD \quad (1)$$

여기서 TCT 는 트럭순환시간, STL 은 적재지점에서 트럭 접근시간, LT 는 적재작업 시간, TL 은 광석(폐석)을 적재한 트럭(실차)이 파쇄장(폐석장)으로 이동하는 시간, STD 는 파쇄장(혹은 폐석장)에서 트럭 접근시간, DT 는 트럭(실차)의 텀펄 작업 시간, TE 는 트럭(공차)이 다시 적재장으로 이동하는 시간, AD 는 적재장이나 파쇄장(폐석장)에서 트럭이 대기행렬에 들어가 작업을 위해 대기하는 시간을 의미한다.

쇼벨-트럭 운반시스템의 경제성 분석을 위한 하루 평균 수익(Average Daily Profit, ADP)은 Park과 Choi(2013)가 제안한 수익 모델(Eq. 2)을 사용하여 산정하였다.

$$ADP = (NH \times TRC \times P) - (TC \times NT) - (SC \times NS) - (CC \times COC) - (FR \times BOC) \quad (2)$$

여기서 NH 는 총 적재-운반 횟수, TRC 는 트럭의 적재 용량(ton), P 는 톤당 광물자원(석회석)의 가격(USD), TC 는 트럭 한 대의 하루 운영비용(USD/day), NT 는 시뮬레이션에 투입된 트럭의 수(대), SC 는 쇼벨 한대의 운영비용(USD/day), NS 는 시뮬레이션에 투입된 적재 장비의 수(대), CC 는 파쇄기 처리 용량(tph), COC 는 파쇄기 운영비용(USD/day), FR 은 컨베이어 벨트의 석회석 공급 속도(tph), BOC 는 벨트 컨베이어의 운영비용(USD/day)을 의미한다. 그 외에 시뮬레이션 엔진 개발을 위해 사용한 방법과 가정 사항은 Park 등(2014b)에 제시되었다.

3. 사례연구

3.1 연구지역

본 연구에서는 시뮬레이션 알고리즘 설계와 시뮬레이션 인자 값 조사를 위해 ㈜쌍용자원개발에서 운영하는 동해 석회석 노천광산을 연구지역으로 설정하였다(Fig. 5). 이 광산은 강원도 동해시 삼화동에 위치하고 있으며 연간 약 1,400만톤의 석회석을 생산하고 있다. 생산된 석회석은 모두 ㈜쌍용양회로 공급한다(MKE and KIGAM, 2011). 현장은 세 지구의 작업장으로 구성되어 있으나 본 연구에서는 가장 많은 양의 석회석을 생산하는 2지구 작업장의 쇼벨-트럭 운반 시스템을 대상으로 개발된 프로그램을 적용하였다. 2지구 작업장의 쇼벨-트럭 운반 시스템은 두 곳의 적재장(쇼벨 1대씩 배치)과 한 곳의 파쇄장(파쇄기 1대 배치)으로 구성되며 작업장에 투입되는 트럭들은 각 적재장과 파쇄장 사이를 ‘고정 트럭배차 방식’으로 왕복 운행하며 석회석을 운반한다.

3.2 시뮬레이션 인자 설정

두 곳의 적재지점(A와 B지점)에 각각 한 대씩의 쇼벨이 투입되는 것으로 설정하고, 트럭의 배치방식은 현장의 운영상황과 동일하게 ‘고정 트럭배차 방식’을 선택하였다. 시스템에 투입될 트럭의 수와 파쇄기의 처리용량을 다양하게 고려하기 위하여 트럭은 각 적재지점 별로 2대에서 6대까지, 파쇄기의 처리용량은 1,000 tph에서 1,600 tph까지 100 tph 단위로 증가시키면서 시뮬레이션을 반복적으로 수행할 수 있도록 하였다.

시뮬레이션을 위해 프로그램에 입력한 인자 값들은 2013년 2월 현장조사를 통해 획득한 인자 값들을 사용하였다. 쇼벨-트럭 운반 시스템의 각 단위 작업과 관련한 시간 인자 값들은 스톱워치를 이용하여 반복 측정하였으며, 경제성 분석과 관련한 인자 값들은 현장의 협조를 받아 결정하였다. 석회석 판매 가격은 MKE와

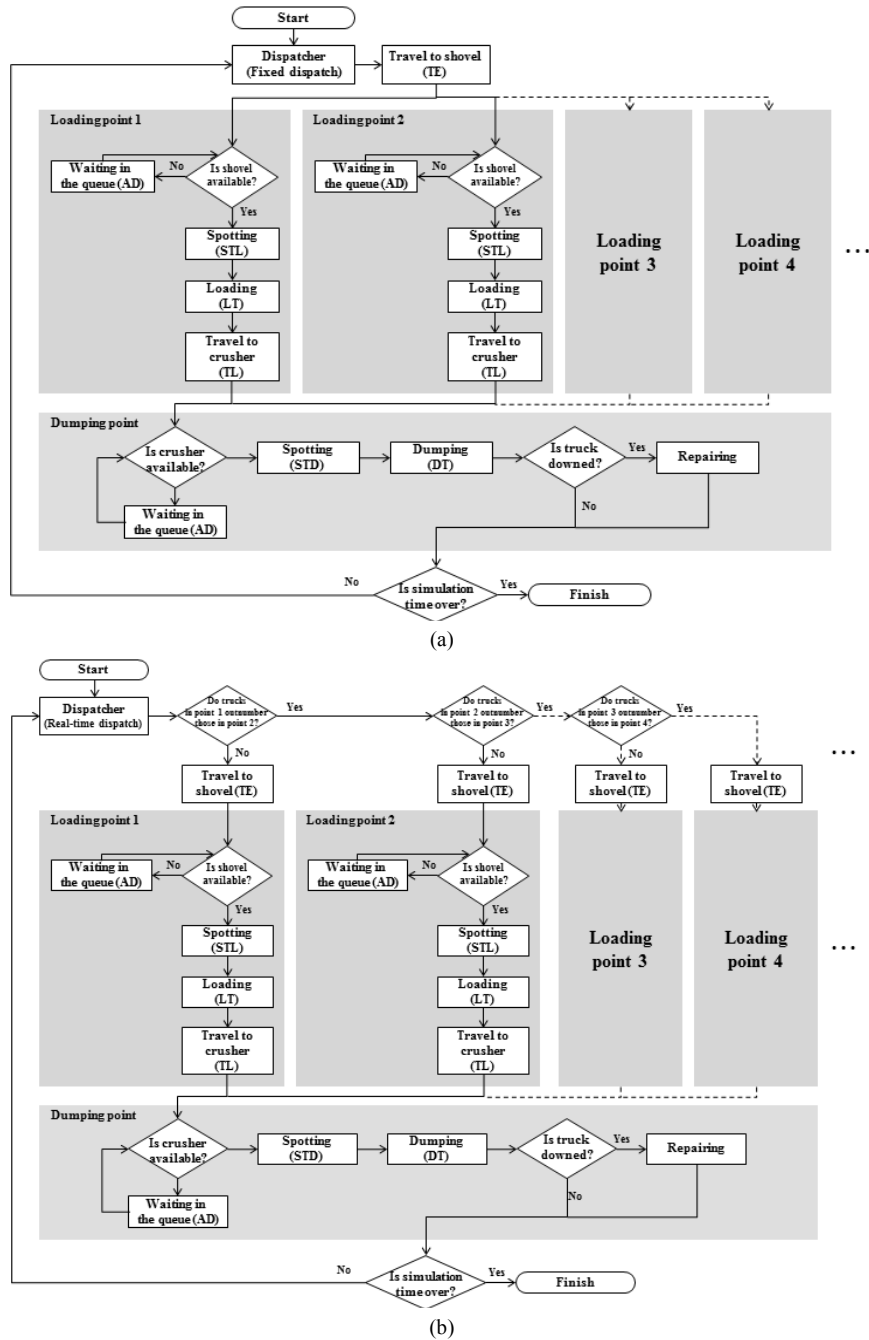


Fig. 4. Simulation algorithm for developing simulator. (a) Simulation algorithm for a fixed truck dispatch system. (b) Simulation algorithm for a real-time truck dispatch system

KIGAM(2011)에서 발간한 광산물 수급현황 보고서를 참고하여 산정하였다. 경제성 분석을 위한 인자 중 파

쇄기와 벨트 컨베이어의 운영비용은 현장 여건상 소비 전력을 측정하는 것이 용이하지 않았다. 따라서 본 연

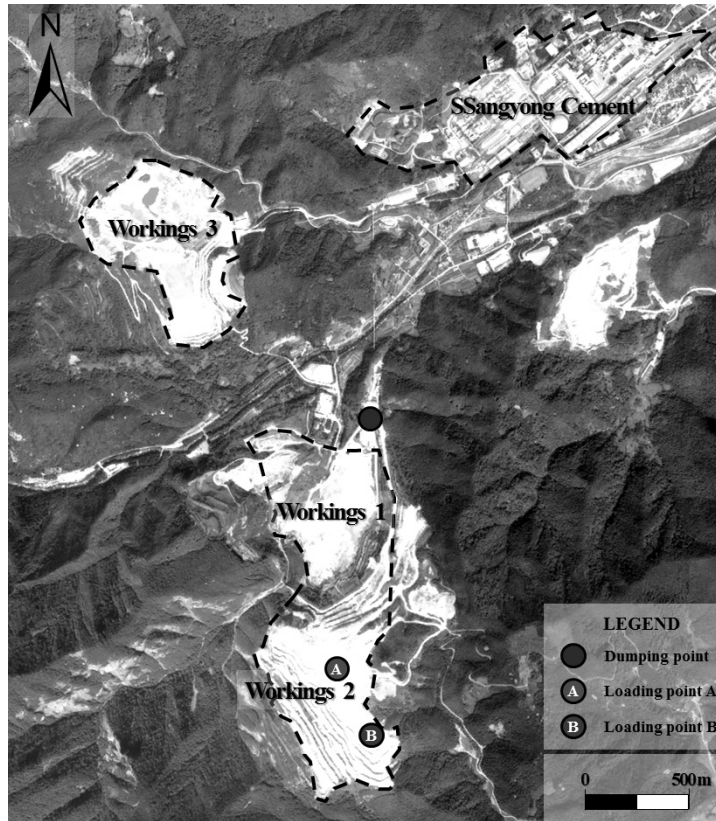


Fig. 5. Aerial view of the Ssangyong open-pit limestone mine, Kangwon-do, Korea (image source: Vworld, <http://map.vworld.kr/map/maps.do>)

구에서는 파쇄기 운영비용을 10,000 USD(1,000 tph 기준)로 설정하고 처리 용량이 100 tph 증가할수록 비용도 1,000 USD만큼 증가하는 것으로 가정하였다. 또한 벨트 컨베이어의 경우에는 운영비용을 5,000 USD(1,000 tph 기준)로 설정하고 처리 용량이 100 tph 증가할수록 비용은 500 USD 만큼 증가하는 것으로 가정하였다. 그 외에 시뮬레이션 수행시 사용한 시뮬레이션 인자 값은 Park과 Choi(2013) 및 Park 등(2014b)가 사용한 것과 동일하며 Table 1에 제시하였다.

3.3 시뮬레이션 결과

앞서 설명된 시뮬레이션 조건에 따라 프로그램을 실행한 결과 총 175회의 시뮬레이션이 반복적으로 수행되었다. 여기서 175는 시뮬레이션 조건에 제시된 트럭의 수와 파쇄기의 처리용량의 범위를 고려했을 때 적용 가능한 모든 장비 조합의 수를 의미한다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 6과 같이 프로그램의 GUI를 통해 사용자

가 직접 확인할 수 있으며, 표 형태로 저장하여 엑셀과 같은 스프레드시트 프로그램에서도 활용이 가능하다.

프로그램은 175회의 시뮬레이션 결과를 자동으로 분석하여 최적의 장비 조합을 사용자에게 알려준다. 이 사례연구에서는 각 적재지점에 트럭을 4대씩 할당하고 파쇄기의 처리용량을 1,500 tph로 운영할 경우 모든 장비의 이용률을 80% 이상 넘지 않는 범위 내에서 최대의 수익(88,551.78 USD)을 기대할 수 있는 것으로 분석되었다. 사용자는 GUI를 통해 최적의 장비 조합으로 쇼벨-트럭 적재-운반 시스템을 운영시 예상되는 장비별 이용률, 트럭 대기행렬의 길이, 하루 평균 광석 운반량, 하루 평균 수익 등을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 Visual Basic.NET 2012과 GPSS/H 시뮬레이션 언어를 이용하여 노천광산의 쇼벨-트럭 운

Table 1. Parameter setting for shovel-truck haulage simulation (Park and Choi, 2013, Park et al., 2014b)

Parameters		Value	
Simulation parameter	Number of days to simulate	1000 (days)	
	Daily working hours	480 (min/day)	
	Capacity of truck	70 (ton)	
	Capacity of crusher's hopper	450 (ton)	
	Crushing rate of crusher	1300 (ton/hour)	
	Feed rate of belt conveyor	3600 (ton/hour)	
Time parameter	at shovel	Spotting time (wait in the queue)	0.69 ± 0.04 (min)
		Spotting time (no wait in the queue)	0.39 ± 0.06 (min)
		Loading time	3.62 ± 0.36 (min)
	at crusher	Spotting time (wait in the queue)	0.39 ± 0.03 (min)
		Spotting time (no wait in the queue)	0.31 ± 0.01 (min)
		Dumping time	1.89 ± 0.17 (min)
	on road	Travel time of a loaded truck (from area A to crusher)	7.34 ± 0.44 (min)
		Return time of a empty truck (from crusher to area A)	6.14 ± 0.27 (min)
		Travel time of a loaded truck (from area B to crusher)	9.37 ± 0.22 (min)
		Return time of a empty truck (from crusher to area B)	7.92 ± 0.16 (min)
	in repair facility	Mean time of truck's breakdown	40 (hour)
		Mean time of truck's fix	4 (hour)
Economic parameter	truck	Daily cost for each truck's driver	105.53 (USD/day)
		Daily cost for each truck	463.77 (USD/day)
		Daily etc. cost for each truck	222.89 (USD/day)
	shovel	Daily cost for each shovel's driver	130.87 (USD/day)
		Daily cost for each shovel	1055.48 (USD/day)
		Daily etc. cost for each shovel	406.55 (USD/day)
	etc.	Price per ton of ores	11.85 (USD/ton)
		Cost for crusher's operation (1,000 tph)	10,000 (USD/day)
		Cost for conveyor belt's operation (1,000 tph)	5,000 (USD/day)

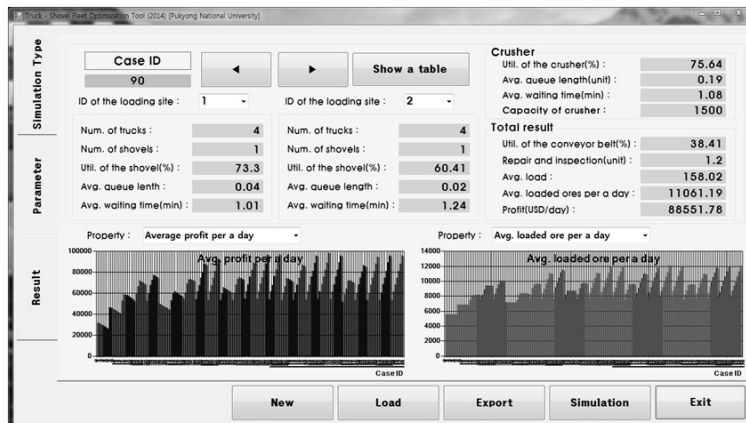


Fig. 6. Simulation results generated from the developed program

반 시스템을 시뮬레이션 할 수 있는 Windows 용 그래픽 사용자 인터페이스 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 사용자가 인터페이스를 통해 설정하는 시뮬레이션 조건에 따라 광산현장에 적용 가능한 장비 조합들에 대한 시뮬레이션을 반복적으로 수행하며, 시뮬레이션 결과들을 자동으로 분석하여 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템에 가장 적합한 장비의 조합을 사용자에게 알려준다. 개발된 프로그램을 (주)쌍용자원개발의 동해 석회석 노천광산 제 2작업장에 적용한 결과 두 지점의 적재장에 각각 4대의 트럭을 투입하고 파쇄기 처리용량을 1,500 tph로 운영할 경우 가장 효율적으로 광석 운반 작업을 수행할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구의 결과는 다음과 같은 측면에서 Park 등(2014b)이 수행한 기존의 연구와 차별화된다. 첫째, Park 등(2014b)에서 제시한 알고리즘에서는 입력 가능한 적재 지점의 수가 최대 2개로 제한되었지만, 본 연구에서 프로그램 개발을 위해 사용한 알고리즘은 적재지점 수에 대한 제약 없이 다수의 적재지점들을 시뮬레이션 조건으로 설정할 수 있다. 둘째, Park 등(2014b)의 연구에서 개발된 프로그램은 Windows 콘솔을 통해 사용자가 명령어를 한 줄씩 직접 입력해야 하는 불편함이 있어 광산현장의 실무 활용 목적에 부적합했지만, 본 연구에서 개발된 프로그램은 사용자가 복잡한 명령어를 직접 입력하지 않고도 사용자 인터페이스를 통해 시뮬레이션 조건만 설정하면 쉽고 빠르게 프로그램을 구동할 수 있다. 셋째, Park 등(2014b)의 연구에서 개발된 프로그램은 다양한 장비조합에 대한 반복적인 시뮬레이션 작업을 수행하기 어려웠으나 본 연구에서 개발된 프로그램은 이러한 반복적인 작업들을 자동화하여 보다 효율적으로 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템에 투입될 장비의 수와 성능을 최적화할 수 있다.

본 연구의 결과는 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템의 시뮬레이션 및 최적화 문제와 관련하여 고가의 외산 프로그램들을 대체할 수 있는 국산 프로그램의 개발 가능성을 제시했다는 측면에서 큰 가치를 가진다. 향후 국내 광산현장에 프로그램을 공급하여 적용성을 평가한 후 그 결과에 따라 일부 기능을 개선한다면 노천광산 쇼벨-트럭 운반 시스템의 장비운영과 관련한 문제들을 해결하기 위한 실무적인 도구로서 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업 “국내 석회석광 적용 자동차 경량화 광물 원료 등 미래 자

원화 기술 실증화 연구(과제번호: 2013T100100021)”를 수행하는 대성엠디아이(주)의 2013년 기술정보 수집 연구용역비 지원으로 수행되었다.

References

1. Aksoy, M. and Yalcin, E., 2000, A computer program for open pit mine equipment selection: TruckMac, In: Panagiotou, G. N. and Michalakopoulos, T. N. (eds), Mine Planning and Equipment Selection 2000, Balkema, Rotterdam, Netherlands, pp. 499-503.
2. Berkheimer, E. N., 2011, Selection and sizing of excavating, loading, and hauling equipment, In: Darling, P. (eds), SME Mining engineering handbook, 3rd Ed, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., USA, pp. 931-939.
3. Bonates, E. J. L., 1996, Interactive truck haulage simulation program, In: Hennies, W. T., Ayres Da Silva, L. A. and Chaves, A. P. (eds), Mine Planning and Equipment Selection 1996, Balkema, Rotterdam, Netherlands, pp. 51-57.
4. Choi, Y., 2011, New software for simulating truck-shovel operation in open pit mines, Journal of the Korean Society for Geosystem Engineering, Vol. 48, No. 4, pp. 448-459.
5. Choi, Y. and Nieto, A., 2011, Software for simulating open-pit truck/shovel haulage systems using Google Earth and GPSS/H, Journal of the Korean Society for Geosystem Engineering, Vol. 48, No. 6, pp. 734-743.
6. Ercelebi, S. G. and Bascetin, A., 2009, Optimization of shovel-truck system for surface mining, The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 109, pp. 433-439.
7. Krause, A. and Musingwini, C., 2007, Modelling open pit shovel-truck systems using the machine repair model, The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 107, pp. 469-476.
8. MKE and KIGAM, 2011, Annual report of mineral supply and demand status in korea, <http://rik.kigam.re.kr/portal/>, pp. 95-100. (Access at 06 November 2013).
9. Park, S. and Choi, Y., 2013, Simulation of shovel-truck haulage system by considering truck dispatch methods, Journal of the Korean Society for Geosystem Engineering, Vol. 50, No. 4, pp. 543-556.
10. Park, B. Choi, Y. and Park, H. S., 2013, Creation of vector network data with considering terrain gradient for analyzing optimal haulage routes of dump trucks in open pit mines, TUNNEL & UNDERGROUND SPACE, Vol. 23, No. 5, pp. 353-361.
11. Park, B. Choi, Y. and Park, H. S., 2014a, Optimal routes analysis of vehicles for auxiliary operations in open-pit mines using a heuristic algorithm for the traveling salesman problem, TUNNEL & UNDERGROUND SPACE, Vol. 24, No. 1, pp. 11-20.
12. Park, S., Choi, Y. and Park, H. S., 2014b, Simulation

of shovel-truck haulage system in open-pit mines by considering breakdown of trucks and crusher capacity, TUNNEL & UNDERGROUND SPACE, Vol. 24, No. 1, pp. 1-10.

13. Suboleski, S. C., 1975, Mine Systems Engineering Lecture

Notes, The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, USA.

14. Temeng, V. A., 1997, A computerized model for truck dispatching in open pit mines. PhD dissertation, Michigan Technological University, Michigan, USA, pp. 1-12.

박 세 범

2013년 부경대학교 환경해양대학 에너지 자원공학과 공학사



Tel: 051-629-6550
E-mail: sebumilv@gmail.com
현재 부경대학교 환경해양대학 에너지 자원공학과 석사과정

최 요 순

2004년 서울대학교 공과대학 지구환경 시스템공학부, 공학사
2009년 서울대학교 공과대학 에너지시스템공학부, 공학박사
2010년 미국 펜실베이니아 주립 대학교 에너지자원공학과, Post-Doc



Tel: 051-629-6562
E-mail: energy@pknu.ac.kr
현재 부경대학교 환경해양대학 에너지 자원공학과 조교수

이 성 재

2014년 부경대학교 환경해양대학 에너지 자원공학과 공학사



Tel: 051-629-6550
E-mail: lsjtdwo@gmail.com
현재 부경대학교 환경해양대학 에너지 자원공학과 석사과정

박 한 수

Tel: 02-765-3003
E-mail: parkhs@dsmc.co.kr
현재 대성엠디아이(주) 신소재기술연구소 부장

