

토사운반 공정의 스크레이퍼 중심 최적 장비조합에 관한 연구

A Study on Optimal Equipment Fleet focused on Pusher-loaded Scrapers in Earthmoving Operation

이 형 국*

손 창 백**

이 동 은***

Lee, Hyung-Guk

Son, Chang-Baek

Lee, Dong-Eun

Abstract

Pusher-Loaded Scrapers are important construction equipment for large earthmoving operations. Production rates of a Pusher-Loaded Scraper vary greatly in accordance with the temperature or elevation, the equipment performance, haul speed, haul-road conditions, the method of loading, and Number of scrapers per one pusher. Determining of most economical scrapers fleet regarding the size of equipment, model name, and number of scrapers demands time-consuming calculation because it needs to reference of varied performance charts or tables and repeat complicated calculation. In this study, decision-making support system for the Optimal Pusher-loaded Scrapers Fleet is suggested for the purpose of calculating easily and handling effectively variables which are changed depend of the work conditions. The prototype of this program is developed using MATLAB. And the Database of Pusher-loaded Scraper embodies Performance chart & Retarder chart, soil properties, and calculation-support table.

키 워 드 : 건설장비, 컴퓨터 응용프로그램, 생산성, 자동화, 토사운반공정

keywords : Construction equipment, Computer applications, Productivity, Automation, Earthmoving operation

1. 서론

1.1 연구의 배경

대규모 토사운반 및 포설공정에서 트랙터 적재형 스크레이퍼(Pusher-loaded Scraper)는 중요한 건설 장비이다. 이 방식은 무한궤도 트랙터(Crawler tractor)가 푸셔(Pusher)로써 역할을 수행한다. 이는 토사를 적재할 때 트랙터가 스크레이퍼를 뒤에서 밀어서 토사를 적재하는데 요구되는 힘을 제공하고, 스크레이퍼가 높은 운행속도를 유지하게 한다. 즉, 트랙터와 스크레이퍼가 함께 협력하여 흐트러져있는 토사를 적재, 운반 및 포설하는 장비조합이다. 이러한 장비조합의 경우 트랙터와 스크레이퍼가 토사 적재를 위해 함께 협력한다는 점이 본 장비의 경제성을 결정할 때 고려해야할 중요한 부면이다. 토사적재 및 운송공정에 적용되는 스크레이퍼의 생산 사이클은 6가지 단위작업들(예, (1)적재, (2)운송, (3)하역 및 포설, (4)방향전환, (5)귀환, 그리고 (6)다른 토사를 적재하기위해 방향전환 및 위치초기화 등)로

구성된다. 이들 단위작업들에 대한 동작분석은 이 장비를 가장 경제적으로 현장에 운영하는 방안을 규명하는 중요한 정보를 제공한다.

1.2 연구의 목적 및 범위

본 연구는 어떤 프로젝트에 장비군단을 투입하기 전에 장비의 엔진요소들(Engine factors), 운송로 조건, 토질특성, 적재 방식 및 장비조합의 변화를 고려하여 가장 경제적인 스크레이퍼 조합을 규명하는 의사결정지원 시스템을 구현한다. 본 시스템은 대규모 토사운반 공정을 위해 건설사가 보유(혹은 조달 가능)한 다양한 스크레이퍼들 중에 가장 경제적인 장비조합을 신속히 규명하기 위해 개발되었다. 본 연구의 연산절차를 자동화하는 의사결정지원 시스템은 현장 프로젝트 엔지니어(혹은 프로젝트 관리자)가 역동적으로 변하는 생산성 변동요인들에 대처하여 가장 경제적인 장비조합을 규명하는 연산을 실행하는데 필요한 데이터들을 입력하는 시간을 줄이고, 사이클 타임을 계산하는 시간을 최소화하면서도 토사운반 단가를 정확하게 계산하는 것을 지원한다. 또한 더 향상된 종합적인 분석 및 의사결정을 위해 민감도분석 및 시나리오별 공정성과 예측 및 평가를 가능하게 한다.

* 경북대학교 건축·토목공학부 석사과정

** 세명대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*** 경북대학교 건축·토목공학부 부교수, 공학박사, 교신저자
이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 중견연구자 지원사업임. (핵심 공동 : No. 2012-047710).」

2. 문헌고찰

건설장비(예, 트랜처, 백호, 크레인, 등)의 최적조합을 규명하는 다양한 의사결정 시스템들이 개발되었다. 예를 들어 작업범위, 토질유형, 시방서에 요구되는 다짐정도, 토질특성을 입력하여 요구조건들을 충족시키는 최적의 다짐 장비(Compactor)를 선택하는 시스템(Touran 1990), 예상되는 최대 인양무게 및 작업조건들(예, 요구되는 기동성 등)을 고려하여 적절한 크레인의 종류와 크기를 선정하는 시스템(Hanna 1994), 여러 조건들이 주어졌을 때 가장 적합한 스크레이퍼를 선정하는 시스템(Kuprenas and Henkhaus 2000)들이 개발되었다. 그러나 이러한 시스템들은 어떤 건설사의 채용가능한 모든 장비들을 신속하고도 철저히 비교하는 효율성을 제공하지 않으며, 사용자가 특정 프로젝트와 관련된 변수들, 요구되는 추가 자원 및 비용 제한 등을 연산과정에 관여시키는 것을 허용하지 않는다.

3. 스크레이퍼 최적 장비조합 의사결정시스템

트랙터 적재형 스크레이퍼를 사용하여 토사를 운반하는 공정을 완료하는데 소요되는 시간 및 단가를 결정하는 연산과정을 거쳐 최적의 장비조합을 추천하는 사용자 환경을 제시한다. 본 연구는 방법론의 상세한 제시 대신, 3장에서 시스템을 중심으로 사용자 환경에 대해 설명한다.

그림 1은 본 시스템의 메인 사용자 인터페이스를 제시한다.

사용자는 본 시스템의 GUI(Graphical user interface)창에 특정 프로젝트와 관련된 구체적인 데이터를 입력할 수 있다. 이는 굴착되는 토질의 유형(예, 젖은 진흙, 마른 흙, 젖은 자갈), 운송로와 관련된 변수(예, 구간 수, 길이, 도로 조건, 경사저항, 주행저항 등), 프로젝트가 위치한 지역과 관련된 변수(예, 고도 및 온도), 사이클 시간과 관련된 변수(예, 상차시간, 하차시간, 도로 양 단부에서 회전하는 시간, 주행 가속 및 감속), 그리고 부가적인 자원의 비용(예, 노무비) 정보 등을 포함한다. 본 모듈에 제공된 창들(예, 입력창, 출력창 그리고 새 스크레이퍼 추가 창)은 사용자로부터 제공되는 이러한 정보를 입력받고, 해당 건설사의 장비 데이터베이스로부터 채용가능한 장비들의 목록을 자동으로 탐색하기위해 사용된다. 사용자가 입력해야하는 데이터 속성 값들은 입력창(Input)내의 세 개의 목록의 값들로 제한된다.

사용자 인터페이스 화면상의 입력창(Input)은 데이터의 기입을 용이하게 하고 권장 값을 제공하기 위한 풀다운(pull-down) 메뉴가 제공된다. 사용자가 데이터의 기입을 완료하고 하단에 위치한 연산(Calculation)버튼을 누르면, 시스템은 우측의 출력창(Output)에서 데이터베이스 내에 저장되어 있는 데이터를 사용하여 연산한 후 결과값들을 출력한다.

사용자는 시스템을 실행하기 위하여 그림 1의 ① 구간, 즉 입력창(Input)의 작업변수입력(Operation Parameter)항목에서 풀다운메뉴를 사용하여 운반해야 할 토사의 종류 및 토사량을 수치값으로 입력한다. 운송도로와 관련된 변수입력(Haul road

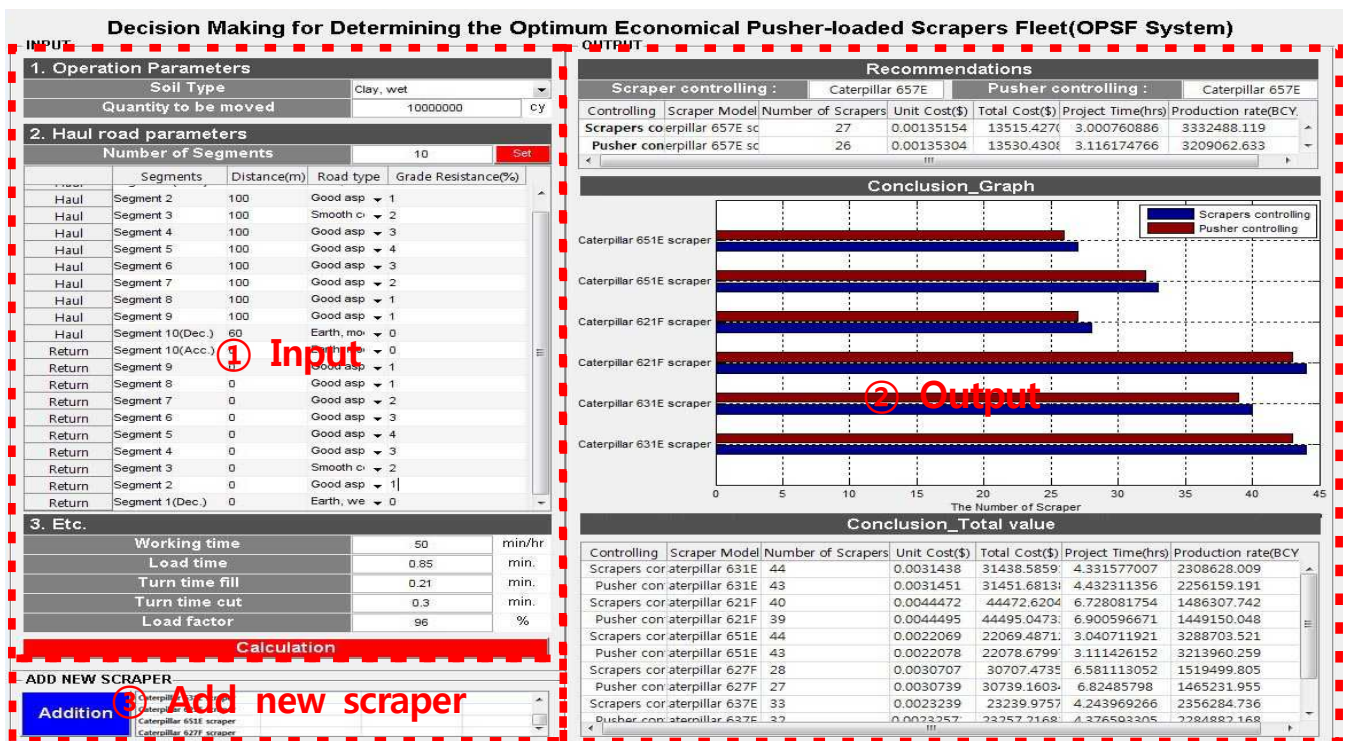


그림 1. 사용자 인터페이스(GUI)

Parameter)란에는 ‘운송도로의 상태’와 관련된 정보값들을 입력한다. 이때에 입력해야 할 값은 세 가지, 즉 (1)구간별 운송거리, (2)운송로 특성, 그리고 (3)경사저항이다. 입력창(Input)의 마지막 항목은 단위시간당 사이클 수의 연산에 필요한 시간당 작업시간(Working time), 토사의 적재시간(Load time), 절토지 및 성토지에서의 선회시간(Turn to fill & cut), 그리고 스크레이퍼의 유효탑재량을 연산하기 위한 토사적재율(Load factor)에 관한 정보 입력을 요구한다. 이와 같이 연산에 필요한 데이터의 입력을 모두 마친 후, 하단에 위치한 연산(Calculation)버튼을 눌러 연산을 실행한다. 연산 후, 사용자는 그림 1의 ②구간에 제시된 추천안(Recommendation)과 그래프, 시스템DB내에 저장되어 있는 스크레이퍼들에 대한 연산값들을 확인할 수 있다.

연산값들 중에 최소단가를 요구하는 장비가 추천안(Recommendation)으로 제시되는데, 스크레이퍼가 생산속도를 제어하는 경우와 푸셔가 생산속도를 제어하는 두 가지 경우의 값을 제공한다. 이 정보를 사용하여 사용자는 시스템에 의해 추천된 최적의 장비조합을 선택 할 수 있다. 출력창은 추천안(Recommendation)에 제시된 결과값과 추천되지 않은 모든 연산값을 한눈에 검토할 수 있도록 그래프 및 표로 제시한다.

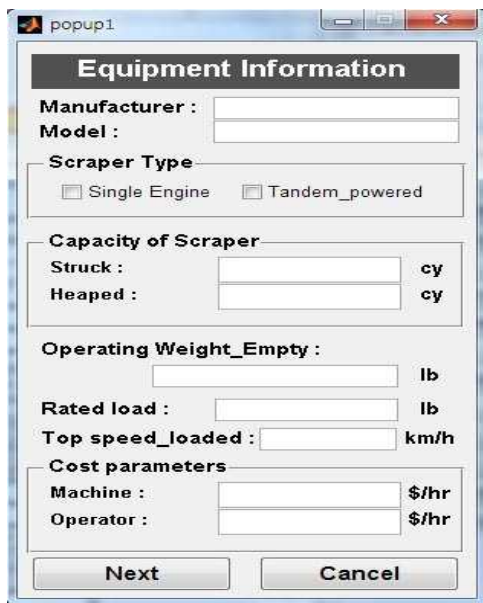


그림 2. 새 스크레이퍼 추가 창

그림1의 ③구간에 스크레이퍼 추가창(Add new scraper)은 기존의 데이터베이스에 저장되어 있지 않은 새로운 스크레이퍼에 대한 정보의 입력을 가능하게 한다. 좌측의 추가(Addition)버튼을 누르면 그림 2의 팝업(Pop-up)창이 열리게 되어 시스템의 연산에 필요한 정보를 사용자가 입력 가능하게 한다.

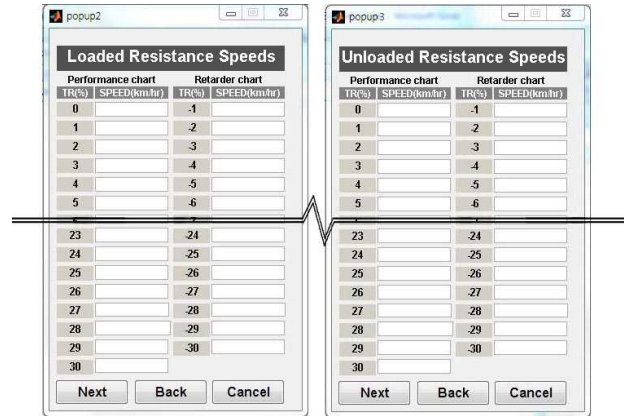


그림 3. 총 저항값에 따른 스크레이퍼 속도 기입 창

추가될 스크레이퍼에 대한 정보(예, 제조사, 모델명, 적재용량, 장비이용비용 등)를 기입한 후, 다음(Next)을 누르면 그림 3의 총 저항값에 따른 스크레이퍼의 속도 기입창이 팝업된다.

모든 데이터의 기입을 완료한 후 그림 4의 추가(Add) 버튼을 누르면 해당정보는 기존의 데이터와 함께 시스템DB내에 영구 데이터로 저장되어 새로운 스크레이퍼의 정보입력이 완료된다. 새 스크레이퍼 추가창(Add New Scraper)의 우측에는 현재 저장중인 스크레이퍼의 종류를 확인할 수 있게 하며, 정보의 중복 입력을 방지한다.

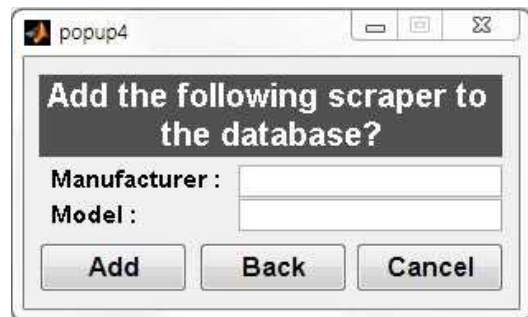


그림 4. 새 스크레이퍼 추가 결정 창

4. 결 론

본 연구는 대규모 토사운반공정을 위해 트랙터 적재형 스크레이퍼가 채용되는 경우 특정 프로젝트와 관련되는 생산성 변동 요인들, 즉 굴착되는 토질의 유형, 운송로와 관련된 변수, 프로젝트가 위치한 지역과 관련된 변수, 사이클 시간과 관련된 변수, 그리고 부가적인 자원의 비용을 효과적으로 취급하여 매우 신속하게 최적 장비조합을 규명해내는 시스템을 개발하여 제시한다. 시스템은 사용자로부터 상기 속성값들을 신속하게 획득하고, 해당 건설사의 장비 데이터베이스로부터 채용 가능한 장비들을 자동으로 탐색하여 가장 경제적인 장비군단을 선택한다. 이로 인하여 본 연구는 1)복잡하고 반복적인 계산을 신속히 수

행하여 상황변화에 신속히 대응하는 방식으로 의사결정을 내리는 것을 가능하게 하고, 2)신속한 분석 및 의사결정이 요구되는 상황에서 프로젝트 엔지니어와 견적사들은 본 시스템을 사용하여 최적의 장비를 선택함에 기여할 것이라 사료된다. 이처럼 본 시스템은 어떤 주어진 프로젝트에 대해 스크레이퍼의 종류나 대수의 관점에서 가장 경제적인 대안 및 조합을 즉각적으로 결정하는 것을 가능하게 하는 도구를 제공한다.

참 고 문 헌

1. Caterpillar Handbook, 32nd Ed, Caterpillar Inc., Peoria, II, 2001
2. Hanna, A. SELECTCRANE: An expert system for optimum crane selection, Proc., 1st Computing in Civil Engineering Conf., in conjunction with A/E/C Systems, ASCE, Reston, Va., 1, pp.958~963, 1994
3. Kuprenas, J., and Henkhaus, T. SSPE-A tool for scraper selection and production, Proc., 8th Int. Computing in Civil and Building Engineering Conf., ASCE, Reston, Va., 2, pp.980~987, 2000
4. Touran, A. Expert system for compactor selection, J. Transp. Eng., 1163, pp.338~348, 1990