

# 이산 사건 시뮬레이션을 활용한 건설공정 CO<sub>2</sub> 배출량 추정 시스템

## An Estimating System for the CO<sub>2</sub> Emissions using Discrete Event Simulation

이 창 용\*

곽 한 성\*

이 동 은\*\*

Yi, Chang-Yong

Gwak, Han-Seong

Lee, Dong-Eun

### Abstract

Low carbon construction is an important operation management goal such as cost, time, and quality in construction community. This paper introduces a system which measures the variability of carbon dioxide amounts. First, this system allows creating construction operation models of which the level of detail is breakdown into the work task level. Second, the system implements sensitivity analysis along with a ranges of resources that are allocated in an operation model. It facilitates to find the optimal resource combination using the operation performances such as the amount of emissions, operation completion time, and cost. Lastly, it identifies the best fit probability distribution functions of performance criteria given a certain resource combination. It allows project manager to query the percentages to complete the operation within a limitation specified by the system users.

키 워 드 : 이산화탄소, 이산 사건 시뮬레이션, 건설 공정모델

Keywords : Carbon Dioxide, Discrete Event Simulation, Construction Operation Model

## 1. 서 론

건설업은 전체 산업에서 원재료사용의 40%, 에너지소모의 30%, 그리고 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량의 30% 이상을 차지하며, 환경저하(Environmental degradation)에 많은 영향을 끼치기 때문에 지구환경을 보호하기 위해 건설에 의한 온실가스 저감은 중대한 현안이다(Liu et al. 2013). 본 연구는 건설사공단계에서 작업조건 변화에 따른 자원(장비 및 노무자)의 CO<sub>2</sub> 배출량의 변동성을 추정하고, 시간, 비용 및 CO<sub>2</sub> 배출량과 같은 성과지표(Performance index)를 확률·통계적으로 분석하는 시스템 개발을 연구목표로 한다.

## 2. 기존연구의 고찰

LCA는 건설 사업의 복잡성과 현장마다의 지역변수를 고려하여 건설 프로젝트의 환경부하를 평가하는 적합한 방법론으로 인식된다. 하지만 대부분의 건물 전생애주기를 평가하기 위한 LCA 도구(Tool)들은 사공단계의 환경영향을 간과하거나, 상세 수준에서 산출하지 못한다(Ahn, 2012). 따라서 기존 LCA 연구의 한계점을 극복하기 위해 이산 사건 시뮬레이션(Discrete Event Simulation, 이하 DES)을 활용한 환경영향 평가 연구들(Ahn 2012, Hasan et al. 2013 등)이 진행되고 있다. LCA 기법에 DES를 접목시키면 건설사공단계 환경평가의 정확성을 향상시킬 수 있다(Ahn, 2012). 따라서 DES는 건설공정 수준에서 자원(노무자, 장비 등)의 에너지 소모량 및 CO<sub>2</sub> 배출량을 효과적으로 취급하는 유용한 도구로 받아들여진다.

## 3. 건설공정 CO<sub>2</sub> 배출량 추정 시스템

본 연구에서는 4가지 자원들(Loader, Truck, Dozer, 그리고 Cleaning Laborer) 및 5가지 단위작업들(Load Truck, Clean Tires, Travel to Dump, Spot and Dump, 그리고 Return to Load)로 구성된 토사운반 공정(Halpin and Riggs 1992)을 분석하였다. 수행된 시뮬레이션 모형의 정지 사이클은 30회, 정지 시간은 무한대로 설정하였다. 따라서 시스템은 30대의 트럭이 카운터에 들어오는 순간 정지된다.

\* 경북대학교 건설환경에너지공학부 대학원 박사과정

\*\* 경북대학교 건축토목공학부 부교수, 공학박사, 교신저자(dolee@knu.ac.kr)

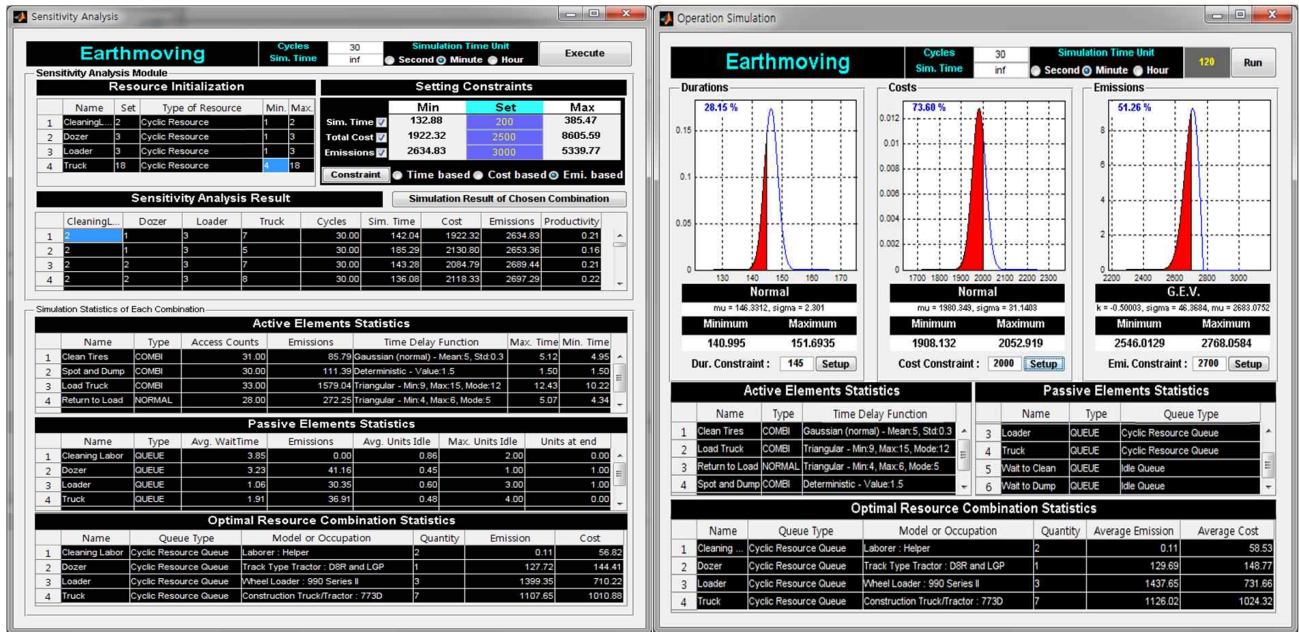


그림 1. 민감도 분석 및 시뮬레이션 실행 대화창

사용자가 지정한 각 자원의 구간 값에 따라 민감도 분석(그림 1, 좌측)을 실행하면 모든 자원조합들의 민감도분석 결과가 제시된다. 사용자는 현장조건(공정원료 시간, 비용, CO<sub>2</sub> 배출량)의 제약 값들을 기입하고, 질의하면 정해진 제약조건에 따른 결과 값들을 걸러서 사용자에게 제시한다. 또한 사용자는 공정원료 시간, 비용, 그리고 CO<sub>2</sub> 배출량 중 우선순위에 따른 최적자원조합을 탐색할 수 있다. 사용자는 민감도 분석을 실행한 후, 결정된 최적 자원조합을 사용하거나 민감도 분석과는 관계없이 사용자가 지정한 자원조합으로 확률·통계적 시뮬레이션(그림 1, 우측)을 실행할 수 있다. 시스템은 성과지표들(Performance indexes)의 최적확률분포함수와 모수를 제시한다. 사용자가 현장조건에 따른 제한 값들(계약상의 공정원료 기간, 책정된 예산, 배출 가능한 CO<sub>2</sub>)을 질의하면, 시스템은 제한 값들 이내에 공정을 조달할 수 있는 확률을 제시한다. 사용자는 본 시스템을 사용하여 저탄소 및 저에너지 소모를 달성하기 위한 확률·통계적 공정계획을 수립할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 1) 공정모델 구축 과정에서 자원들의 상태를 세분화하여 CO<sub>2</sub> 배출량 예측의 정확성을 향상시켰고, 2) 다양한 자원조합을 민감도 분석을 실행하여 현장 제약사항에 따른 최적자원조합의 탐색을 가능하게 하였으며, 3) 특정 자원조합의 공기, 비용, CO<sub>2</sub> 배출량을 확률·통계적으로 예측하는 시스템을 개발하여 제시하였다. 이는 건설공정의 CO<sub>2</sub> 발생근거를 추적하고 관리하기 위한 효율적인 의사결정이 가능하도록 지원한다.

### Acknowledgement

이 연구는 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013R1A2A2A01068316)

### 참 고 문 헌

1. Ahn, C. B., An integrated framework for sustainable construction processes: understanding and managing the environmental performance of construction operations, Doctoral dissertation, Univ. of Urbana, Illinois, 2012
2. Halpin, D. W. and Riggs, L. S., "Planning and analysis of construction operations", John Wiley & Sons, 1992
3. Hasan, S., Bouferguene, A., Al-Hussein, M., Gillis, P., and Telyas, A., Productivity and CO<sub>2</sub> emission analysis for tower crane utilization in high-rise building projects, Automation in Construction, 31, pp.255~264, 2013
4. Liu, S., Tao, R., and Tam C. M., Optimizing cost and CO<sub>2</sub> emission for construction projects using particle swarm optimization, Habitat International, 37, pp.155~162, 2013