KICEM

건설생산 프로세스 혁신기술
– 건설 주요 공정 자원 투입 계획 시뮬레이션 모델 –

김경주 중앙대학교 건설환경공학과 교수
김경민 중앙대학교 건설환경공학과 겸임교수

1. 서론

건설공정은 현장여건의 변화와 불확실성으로인해 예측이 어렵다는 것이 일반적인 인식이다. 이러한 이유로 많은 현장에서 상세한 작업단위의 계획을 시행하고 있지 않으며, 보다 신뢰성 있는 계획의 부재로 인하여 계획된 일정을 준수하지 못하거나 불필요한 자본 투입 등의 낭비요인이 발생하고 있는 것이 현실이다. 이러한 낭비요인 최소화를 위한 노력으로 건설 사업에 린 개념의 도입을 필요로 하며, 시공 계획단계에서 작업계획의 신뢰성을 높이기 위한 다양한 연구를 수행하고 있다.

그중에서 주요한 두 가지 내용을 소개하면 다음과 같다. 먼저 대규모 물량에 대하여 반복적인 작업이 시행되는 토목공사를 대상으로 적용 가능한 시뮬레이션 기법을 제시함으로서 작업계획의 신뢰성을 높이기 위한 연구(SimCon)를 수행하였다. 두 번째는 고층건물의 타워크레인 및 자재야적 위치를 선정함에 있어 최적 의사결정을 지원하기 위한 시스템의 개발(SimTower)이다.

2 SimCon 시스템

항만, 댐, 활주로 포장공사, 단지조성공사 및 장대터널 공사 등과 같은 대규모 건설공사는 대량의 장비투입을 필요로 한다. 그러나 건설현장에 많은 수의 건설 장비가 동시에 투입되는 경우 현장 내에서의 병목현상, 정체구간 및 대기 현상이 발생하게 되며, 건설 장비들 간의 교통 흐름 간섭으로 인한 혼잡이 작업효율에 미치는 영향은 전체 공정 및 사업비에 매우 중요한 영향을 미친다. 따라서 이러한 현장 혼잡을 반영한 장비의 교통흐름이 작업효율과 작업시간에 미치는 영향을 평가하고, 계획된 공사 기간 내에 사업이 완료 될 수 있는지 여부를 평가할 필요가 있다.

교통 혼잡을 고려하여 건설 장비의 효율성과 생산성을 분석하기 위해서는 건설 공사의 공정을 상세 수준으로 모델링하는 마이크로 단계에서의 분석이 수행되어야 하며, 이러한 분석에는 전통적으로 시뮬레이션 기법이 사용되어왔다. 그러나 기존의 불연속 사건 시뮬레이션 모델링 방법론의 경우 장비간의 간섭영향을 반영한 교통 흐름을 평가하는데 한계가 있다. 또한 교통 분야에서 개발되고 있는 PARAMICS, SIMETRON, Synchro/ Simtraffic (Trafficware 2009), CORSIM (Owen et al 2000) RoadSim (Castro and Dawood, 2005) 등과 같은 교통 시뮬레이션 시스템은 교통 예측에 초점을 둠으로써 건설공정과 연계한 다양한 의사결정 지원에 한계를 가지고 있다.

따라서 개별 장비의 시시각각 변화하는 상태와 상호 간섭을 분석하기 위하여 시스템의 변화를 일으키는 행위주체를 중심으로 동태적인 환경 내에서의 변화를 인지하고 자율적으로 작업을 수행할 수 있도록 멀티에이전트 기반의 시뮬레이션 모델링 시스템인 SimCon을 개발하였다. 이를 통해 건설현장에서 발생하는 장비간의 간섭에 따른 장비흐름의 영향을 고려한 장비 운영계획과 전체 공기의 적정성 평가를 효율적으로 수행할 수 있는 방법론을 제공하고자 하였다.

그림 1, 2는 멀티에이전트 기반 건설공정 시뮬레이션 시스템의 실행 화면이며, 적재장에서 사토장으로 토공을 운반하는 공종을 보여주는 화면이다. 본 시뮬레이션 시스템의 특징은 건설공정을 구성하는 트럭, 로더, 그리고 일반차량 등과 같은 행위주체를 멀티에이전트 관점에서 모델링하였으며,

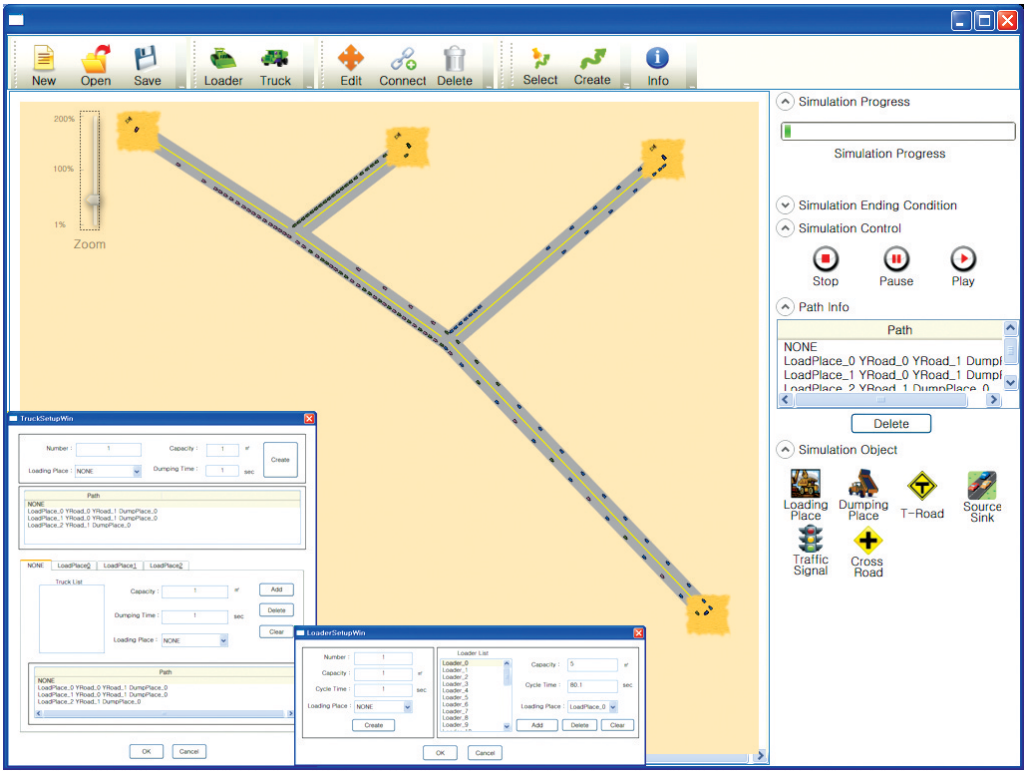

그림 1. SimCon 시스템 실행 화면

각 에이전트의 상호작용을 통해 작업이 수행되는 과정을 모사하도록 하였다. 실행 화면은 대상 건설 사업에 대한 시뮬레이션을 나타내며, 적재장에서 로딩을 완료한 후 각각의 이동경로를 통하여 사토장으로 운반하고 다시 회귀하는 현장 상황을 재현하고 있다. 각 적재장에서 주 운반로로 진입하기 위해서는 교차로를 통과하여야 하며, 그 과정에서 장비 흐름의 정체가 발생하는 모습을 보여주고 있으며, 그에 따른 영향을 분석할 수 있도록 지원한다.

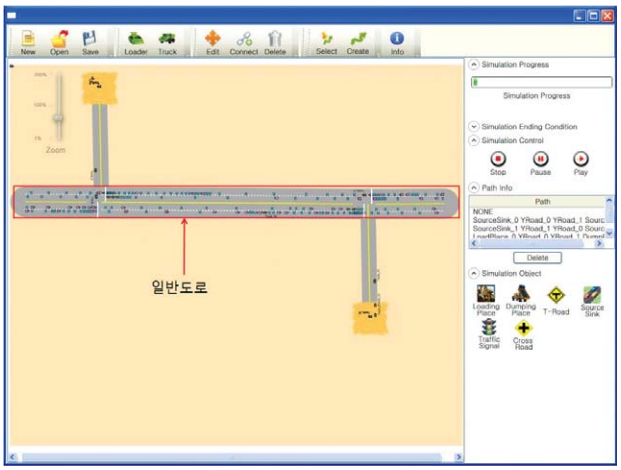

그림 2. SimCon 시스템 실행화면(일반교통량고려)

또한 개발된 시스템은 그림 2와 같이기존 도로의 교통량에 추가로 공사 차량이 투입될 경우 공사 차량의 효율성 및 공기에 미치는 영향을 평가하는데 사용될 수 있다.

1) 적용사례

항만 건설 사업 중 채석장에서 석재를 채취하여 적치장으로 운반하는 공정에 적용하여 그 활용성을 소개하고자한다.

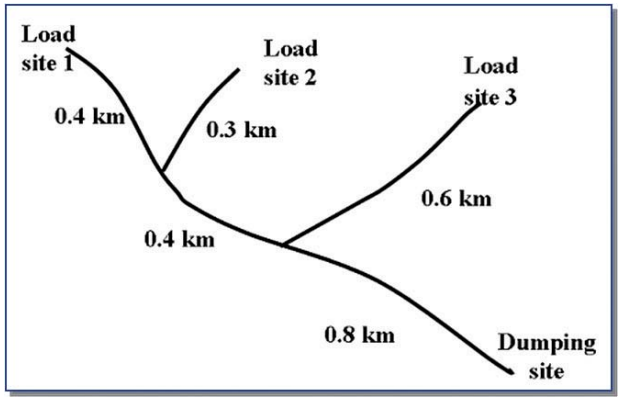

그림 3. 적용사례 현장 개요도

그림 3은 3개소의 채석장에서 로딩작업이 이루어지고, 각각의 채석장에서 교차로 및 주운반로를 통과하여 석재를 적치

표 2. 시나리오별 시뮬레이션 결과

작업 시나리오	총 로더투입 대수	총 트럭투입 대수	평균속도 (km/hr)	운반회수 (회)	작업 소요시간 (min)	일일 작업량 (m3)	작업 효율 (트럭당 운반회수/hr)
1	16	62	22	1,120	237.467	18,111	4.564
2	22	83	21.8	1,120	196.308	21,908	4.124
3	31	112	18.4	1,120	195.033	22,052	3.076
4	32	124	17.5	1,120	193.288	22,252	2.804
5	38	148	14.6	1,120	192.038	22,396	2.364
6	44	172	13.9	1,120	189.638	22,679	2.06
7	50	196	11.3	1,120	195.438	22,006	1.754

장까지 운반하는 현장 개요도를 보여준다. 기존 방식에 의한 공사계획의 경우 주어진 공구에서의 작업량과 공기, 연평균 공사일수가 주어지면, 일일 처리해야 하는 작업물량과 이를 처리하기 위한 소요 장비의 대수가 계산되어지며, 작업계획의 과정 및 결과는 표 1과 같이 정리될 수 있다.

표 1. 전통적 방식에 의한 공사계획

공사개요	
작업구역의 총작업량	12,500,000 m^3
공사 기간	2 년
작업 일수	235 일/년
일일 작업량	26,595.8 m^3/일
트럭 용량	8 m^3
일일 운반 회수	3,324 회/일
트럭의 평균 운반시간	12 분/회
트럭당 평균 운반회수	40 회
일일 투입 트럭대수	83대

이러한 기존 작업계획의 결과는 현장에 많은 수의 장비가 투입되는 경우 장비 간에 발생할 수 있는 간섭, 정체의 효과와 이로 인한 장비 효율성 저하의 영향을 고려하지 않은 것으로 실제 작업결과와 상이할 수 있다. 따라서 개발된 시뮬레이션 시스템을 통하여 주어진 현장 여건에서 투입되는 장비의 대수를 변경시켜 가면서 다양한 장비조합에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 표 2는 개발된 시스템을 활용한 로더와 트럭의 장비조합별 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. SimCon 시스템을 수행한 결과, 전통적인 계획방식에 의해 산정한 트럭 투입대수(15ton 트럭, 83대)로는 공기 내에 공사를 완료할 수 없는 것으로 평가되었다. 즉 공기 내에 공사를 완료하기 위해 필요한 일일작업량 26,595.8 (m3/일)에 못 미치는 21,908(m3)만을 하루에 처리할 수 있는 것으로 평가되었다.

추가적으로 트럭을 투입하더라도 평균 운행속도가 감소함으로써 일일 작업량을 처리하는데 소요되는 작업시간이 크게 줄지 않고 있음을 알 수 있다. 결과적으로, 건설장비의 투입대수를 증가시키더라도 장비들 간의 간섭효과에 의한 혼잡이 발생되고, 이로 인해 일정한 장비대수 이상(로더 50대, 트럭 196대)에서는 오히려 일일 작업량이 감소했음을 알 수 있다.

사례대상 건설사업의 경우 트럭의 교통흐름이 가중됨에 따라 평균 운반 속도가 약 49%로 감소되었다. 또한, 작업효율의 저하로 인해 계획된 공사 기간 내에 총 작업량을 처리할 수 없을 것으로 분석되었다. 결과적으로 본 사례의 경우 해당 작업구역의 총 작업량을 계획된 공사 기간 내에 처리하기 위해서는 토공 운반경로를 추가 확보하고 채석장 및 적치장을 추가 조성하는 공사계획의 변경을 필요로 하는 사례라 할 수 있다.

건설 현장에 많은 수의 건설장비가 투입되는 경우 발생하는 건설 장비들 간의 혼잡으로 인한 영향을 평가하기 위하여 본 시스템을 활용하는 경우 작업효율과 작업시간에 미치는 영향을 평가할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 건설 장비의 추가 투입에 따라 가중되는 교통 흐름으로 인한 혼잡이 작업효율과 작업 시간에 중대한 영향을 미치는 것을 평가할 수 있었다. 본 시스템은 이와 같은 예측과 분석을 통해 대규모 건설 사업에서 보다 합리적인 공정계획을 수립하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

3. SimTower 시스템

양중장비의 위치 결정을 위해서는 관련된 많은 공종과 다양한 현장조건, 작업수행 계획을 반영하여 복잡한 과정을 통하여 수행된다. 이러한 복잡한 과정을 해결하기 위하여 공동주택의 콘크리트 구조체 공사 단계를 대상으로 타워 크레인과 자재 야적지의 최적 위치 선정을 위한 양중장비 운영계획 지원시스템(SimTower)을 개발하였다. 기존의 연구는 타워 크레인의 위치와 자재 야적지점, 자재 야적지점간의 다양한

경쟁관계를 무시했던 한계를 가지고 있다. SimTower 시스템은 이러한 타워 크레인, 자재 야적지, 설치 지점간의 다양하고 복잡한 상관관계를 다루기 위하여 유전자 알고리즘을 적용하여 개발되었다.

유전자 알고리즘은 최적화 기법의 일종으로, 자연 유전학 및 자연 도태의 원리(The Genetics and natural selection)에 근거한 기법이다. 이 기법은 해공간을 확률적으로 탐색함과 동시에 개체간의 체계적 정보교환을 통해 주위 환경에 가장 적절한 해를 구한다. 이 방법론은 어려운 문제들에 대해 빠르고 신빙성 있는 해답을 주고, 이미 사용되고 있는 시험장치나 모델을 쉽게 공유할 수 있다. 또한 다른 문제로 확장하기가 용이하며, 병렬처리구조로 되어있어 쉽게 응용할 수 있으며 탐색능력이 뛰어난 장점이 있다.

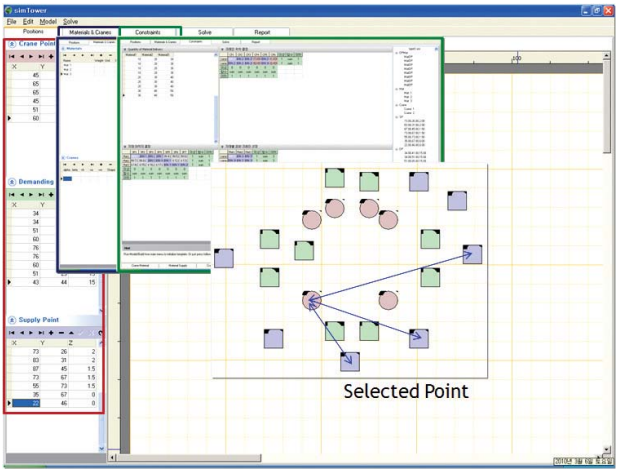

그림 4. SimTower 시스템 실행 화면

본 시스템의 기본적인 작업 구성은 다음과 같다. 여러 종류의 자재를 현장의 여러 지점에 야적한 후 공사 단계에 따라 타워 크레인을 이용하여 필요한 위치에 자재를 운반하는데 있어 최저의 비용으로 운반할 수 있는 자재 야적 및 타워 크레인의 위치를 선정하여야 한다. 즉, 사전 조사를 통해 파악된 다수의 활용 가능한 자재 야적위치(S1, S2, …, Si)가 존재하며, 자재가 설치되는 다수의 지점(D1, D2, …, Di)이 존재한다. 또한 타워 크레인을 설치할 수 있는 다수의 후보지(Cr1, Cr2, …, Cri)가 존재한다. 하나의 자재는 여러 개의 야적 후보지점을 가질 수 있으며, 동일한 야적 지점에 적치하거나 여러 야적지점에 나누어 적치할 수 있다. 운반되어야 하는 자재의 수량은 설치지점마다 상이한 경우를 반영한다. 선정된 자재 야적위치로부터 타워 크레인 위치에 따라 각 자재별 설치지점에 대한 운반시간을 산정한다. 크레인의 상승, 하강, 회전 시간은 기존 연구결과인 Hook Travel Time (Zhang et al. 1999)을 활용 하였으며, 각 타워 크레인의 제원(중량, Jib 길이, 운반속도 등)을 고려하여 산정하도록 하였다. 또한 제시된 결과를 바탕으로 변수를 변화시키면서 총 운반시간의 변화를 검토할 수 있도록 하였다.

본 시스템에서는 타워 크레인이 다양한 후보지점을 갖고, 자재 역시 다양한 야적 후보지점을 가질 때 자재 운반시간 최적화를 지원하기 위한 환경을 제공한다. 사례적용을 통하여 제시된 모델의 적용과정을 예시하고 최적화에 따른 자재 운반시간의 효율성 개선 효과를 분석하였다. 사전분석 작업지원 시스템과의 연계를 통한 초고층 빌딩 현장 배치계획(Layout) 자동화를 지원할 수 있는 시스템 개발의 기반이 될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 기대효과

합리적인 의사결정 지원도구로서 개발된 건설 주요 공정 자원투입계획 시뮬레이션 모델은 건설사업의 경제적 실익을 도모할 수 있다. 장대터널, 단지조성공사, 항만 및 준설공사, 공항공사 등 반복적으로 수행되는 공공건설사업의 공정계획에 활용함으로써 계획단계에서 다양한 공정계획 대안에 대한 효율성을 평가하고, 최적의 자원투입계획을 지원하며, 공기단축 및 공사비 절감에 기여할 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 주어진 건설 환경에서의 작업진행을 공사수행 이전에 컴퓨터상에서 현실에 가깝게 재현할 수 있어 대상 사업의 공기 적정성 검토가 가능하며 직관에 의해 수행되던 기존 현장 공정계획에 대하여 과학적인 검증기법을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

국외에서는 초고층 건물의 양중계획, 도로 재건축 시공분석 소프트웨어, 장비 운영과 조합에 대한 평가 및 설계를 위한 시뮬레이션, 건물 화재시 거주자의 위험 및 대피를 평가하기 위한 시뮬레이션 등 다양한 분야에서 그 수요가 증가하고 있으나 국내에서는 마이크로 프로세스의 공정평가에 극히 제한된 범위로 그 적용을 시도하고 있는 수준이다. 따라서 멀티 에이전트 기반의 시뮬레이션 시스템인 SimCon과 유전자 알고리즘 기반의 양중자재 및 장비 위치결정 최적화 시스템인 SimTower는 국내 건설 생산 프로세스의 혁신을 위한 기반을 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

1. Castro, S. and Dawood, N.N. (2005), ROADSIM : Simulation Modeling Applied To Road Construction, Computing in Civil Engineering, ASCE, 179(26), 1-11
2. Owen, L. E., Zhang, Y., Rao, L., and McHale, G. (2000), Traffic Flow Simulation Using CORSIM, Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference
3. Trafficware (2009), http://www.trafficware. com/articles.html
4. Zhang et al. (1999). "Location Optimization for a Group of Tower Cranes." J. Const. Engrg. and Mgmt., ASCE, 125(2), 115-122

· 김경주 e-mail : kjkim@cau.ac.kr
· 김경민 e-mail : kmkim@wm.cau.ac.kr