

시물레이션을 이용한 시화 테크노 벨리 공기 적정성 검토연구

Feasibility Study on the Duration of Shihwa Techno-Valley through Simulaiton

김 경 주* 김 병 수** 전 진 구*** 이 정 훈****O 윤 원 건****
Kim, Kyong-Ju Kim, Byeong-Soo Chun, Jin-Ku Lee, Jeong-Hun Yun, Won-Gun

요 약

본 연구는 대형 건설사업의 공기 및 공정계획 적정성 검증에 있어서 Bar Chart, CPM 등 기존 공정계획 기법의 한계를 극복하기 위한 대안으로 시물레이션 기법의 효용성을 검증하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 현재 한국수자원공사에서 추진 중에 있는 시화 멀티테크노 벨리 사업을 대상사업으로 선정하였다. 시화 테크노벨리 단지조성 사업은 대규모 사업으로 많은 장비가 동시에 투입되어 대량의 교통 혼잡을 유발할 수 있는 건설 프로젝트이다. 특히 시화 멀티 테크노벨리 현장은 시화공단과 대부분 관광단지를 인접하고 있어 이미 상당한 규모의 기존 교통량으로 인하여 매우 혼잡한 지역이다. 따라서 본 연구에서는 기존 교통량에 추가적으로 공사차량이 증가할 경우 공기 내에 공사를 마칠 수 있는지에 대한 평가를 위한 시물레이션 모델을 구축하고, 적정 공기의 검증 및 공정계획 수립을 위한 방안을 제시하였다.

키워드: 시물레이션, 공정계획, 단지조성, 토공운반계획

1. 서 론

본 연구는 대형 건설사업에서 공기 및 공정계획의 적정성을 검증하기 위한 방법론으로 시물레이션의 효용성을 검증하기 위한 연구를 수행하였다. 현재 대규모 국책사업을 수행함에 있어 주어진 공기의 적정성에 대한 많은 논란이 있음에도 불구하고 기존의 Bar Chart, CPM 등의 공정계획 기법으로는 공기 및 공정계획의 적정성을 검증하는데 한계가 있어왔다. 따라서 본 연구에서는 반복적으로 수행되는 토목공사에 있어서 최적의 자원을 투입하고, 시간, 비용 측면에서의 효율적인 공정 계획의 수립 및 검증을 지원하는 중요한 도구를 제공하는 시물레이션(김경주 2000)을 이용하여 공기의 적정성을 검증하고, 적정 대안을 파악하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해 시화 멀티테크노벨리 사업을 대상으로 선정하였다. 한국수자원공사에서는 시화지구 장기종합계획안을 통해 1조6천5백억원을 투입하여 시흥시 정왕동과 안산시 신길동 일대 반월, 시화공단 외곽 시화호 북측 간석지 317만평을 매립, 공업과 상업 및 녹지지역 등을 3대 테마로 하는 하이테크산업단지인 시화멀티테크노벨

리 건설사업을 추진하고 있다. 이를 위해 5개 공구로 나누어 8년에 걸친 단지 조성사업이 턴키 사업으로 추진 중에 있다.

2. 현장 조건분석

본 연구를 위한 EAC 예측 조사 대상 프로젝트는 L건설의 PMS를 통해 EV자료가 정상적으로 축적된 10개 프로젝트를 대상으로 하였으나, 프로젝트가 정상적으로 종료되지 않았거나, 특정 월의 자료가 누락된 5개소는 제외하고, 자료가 체계적으로 축적된 일반건축 3개소, 토목 1개소, 주택 1개소 등 총 5개 프로젝트로 제한하였다.

5개 프로젝트 모두 확정금액계약이며, 일반건축과 아파트 프로젝트는 민간공사이고, 토목 프로젝트는 발주자가 공기관이다(표1 참조). 현재 5개 공구로 나누어져 같은 시기에 수행되는 시화 테크노벨리의 현장 구성에 대한 개념도는 그림1과 같다. 지정 토취장은 현장으로부터 평균 20Km 이상 떨어져 있으며, 현장에서 지정 토취장까지의 이동경로는 현재 그림 1에서 3번 도로(시화 방조제 제방도로)이다. 단지매립에 소요되는 총 토공 운반량은 42,000,000 (m³)이며, 이는 15 ton 트럭의 평균 토공 운반량을 8 (m³) 상차하는 것으로 볼 때 15톤 트럭으로 총 5,250,000 회 운반하여야 하는 양이다. 매립 후 연약지반의 자연침하 기간과 단지분양기간, 초기 인허가, 가도 축조 등 공사 준비기간 등을 제외하면 실제 공사 가능기간은 5년 정도로 추정

* 중신회원, 중앙대학교 건설환경공학과 조교수, 공학박사 (kjkim@cau.ac.kr)

** 일반회원, 중앙대학교 건설환경공학과 대학원 강사, 공학박사

*** 일반회원, 서경대학교 겸임교수, 공학박사

**** 학생회원, 중앙대학교 건설환경공학과 석사과정

할 수 있다. 따라서 연간 5개 공구에서 매립하여야 할 토사의 운반 횟수는 1,050,000 회 정도인 것으로 추정할 수 있다. 주변 인접지역이 대부분 주변의 관광단지인 점을 감안하여 연간 작업가능일수를 235일로 할 때 1일 매립하여야 할 토사의 운반 횟수는 4468 (회/일) 이다. 1일 8시간 기준으로 작업을 한다고 가정하면 시간당 필요 운반횟수 558.5 (회/hr) 이다. 이는 매 6.45초 마다 트럭이 매립토를 운반하여 5년간 작업을 하여야 하는 방대한 공사이다. 반면 거점된 토취장은 작업현장으로부터 평균 20여 km 떨어진 지점에 위치하고 있어 덤프트럭의 상차 및 하차시간, 대기시간 등을 고려할 때 한 대의 트럭이 한 시간에 1회 운행이 가능하다는 가정을 바탕으로 단순 계획을 수립한다고 할 때 시간당 500대 이상의 덤프트럭이 투입되어야 하는 건설사업이다. 즉 많은 장비가 동시에 투입되어 대량의 교통 혼잡을 유발할 수 있는 건설 프로젝트 이다. 매립토의 이동 계획이 전체 공정에 결정적인 영향을 미치는 건설 프로젝트라 할 수 있다.

그러나 시화 멀티 테크노밸리 현장 주변은 시화공단 지역일 뿐만 아니라 주변 대부분 관광단지를 인접하고 있어 상당한 규모의 기존 교통량이 존재하는 지역이다. 따라서 본 연구에서는 기존 교통량에 추가로 공사차량이 증가할 경우 공기 내에 공사를 마칠 수 있는지에 대한 평가를 위하여 교통 흐름에 대한 시뮬레이션을 수행하고, 적정 공정 계획을 수립하기 위한 연구를 수행하였다.

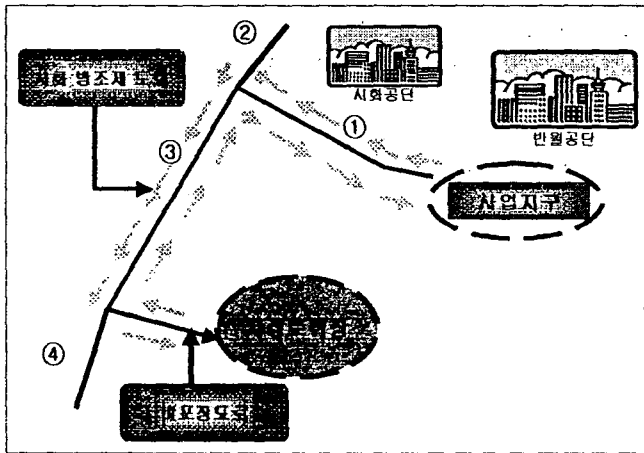


그림 1. 현장 개념도

3. 시뮬레이션 모델구축

3.1 시뮬레이션 모델 구축 목적

작업현장에서 지정 토취장까지의 이동경로는 현재 그림 상에서 3번 도로(시화 방조제 제방도로)로이며, 1, 2번 도로에서 3번 도로로 합류되는 지점에서 기존 일반차량에 의한 교통량과 본 사업으로 인한 공사차량의 증가에 따른 병목현상과 차량정체현상이 예상된다. 즉, 기존 교통량에 추가로 공사차량이 증가할 경우 시화 방조제를 통한 토공 운반차량의 증가를 시화방조제 제방도로가 어느 정도 수용하여, 공기 내에 공사를 마칠 수 있는지에 대한 교통 흐름에 대

한 평가를 필요로 한다. 따라서 시뮬레이션을 통하여 토공 운반 노선 상에서의 교통 혼잡으로 인한 지체시간과 토공 운반 시간에 대한 평가를 수행하고자 한다. 또한 현 도로 노선만으로 공기 내에 공사완료가 불가능 할 경우, 다양한 경제적인 대안 평가와 함께 추가 되어야 할 운반 수단에 대한 필요한 용량을 추정하고자 한다.

3.2 기본가정

본 연구에서 활용한 시뮬레이션 모델링 기법은 불규칙하게 변화하는 시스템의 상태를 재현하는데 편리한 Discrete Event Simulation 모델링 기법(Pritsker 1986, Shannon 1975)을 사용하였으며, 사용된 소프트웨어는 SIGMA (Schruben, 1992)이다. 다음과 같은 기본가정 및 현황 데이터(표 1)를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였다.

- 제방도로에서 대부분도로 통과하는 직진노선 상에서의 병목구간은 없는 것으로 가정
- 제방도로 1차로는 제방도로 끝부분에서 좌회전하는 토공운반트럭의 대기라인이 길 것으로 예상되어 자연스럽게 토공운반차량이 사용하는 것으로 가정
- 좌회전 대기 중인 토공운반차량을 피하여 제방도로 끝부분에서 직진하는 일반차량은 제방도로 2차로를 사용할 것으로 가정
- 신호등 체계는 현재와 동일한 것으로 가정
- 표준품셈을 바탕으로 한 토공 운반트럭의 운행시간에 대한 가정
 - 방조제 도로의 속도한계 : 60 km/hr
 - (교통 혼잡이 없는 경우) 토공 운반차량의 일반도로 평균속도는 40 km/hr로, 비 포장도로는 20 km/hr로 한다.
 - 토취장내 운반(토취장 ~ 시화방조제 입구) : 8분
 - 현장 내 운반(시화방조제 중점 ~ 현장내 진입) : 13분 (현장입구 ~ 현장내 진입 1.2분 포함)

3.3 시뮬레이션 모델 구축

시화 멀티테크노밸리 단지매립 작업에 대한 시뮬레이션을 위하여 구축된 모델의 개념도를 나타내면 사건(Event) 간의 상관관계는 다음 그림 2와 같이 그래프 모델로 나타낼 수 있다.

3.4 시뮬레이션 결과 분석

공기의 적정성을 검토하기 위하여 총 매립토의 운반이 주어진 공기 5년 안에 제방도로를 사용하여 운반 가능한지를 검토하고자 하였다. 이를 위해 먼저 덤프트럭 투입대수의 변화에 따른 1일 운반가능 횟수를 조사하였으며, 그 결과는 표2와 같다. 덤프트럭이 300에서 400대로 100대를 증가시켜도 1일 운반횟수는 100여회 밖에 증가하지 않음을 알 수 있다. 이는 그림 3~그림 8에서 보여주는 바와 같이 차량이 일정대수 이상 증가하면 신호대기 차량의 증가에 따른 정체현상의 증가로 인하여 작업의 효율이 극도로 저하되고, 비경제적임을 알 수 있다. 즉, 시화 방조제를 통한

매립토 운반에 있어 적정 트럭투입대수는 전체공구에서 합하여 300여대 정도임을 알 수 있다. 이때 1일 8시간 작업할 경우 운반가능한 횟수는 1200여회로 1일 필요횟수 4468회에 비하여 3268회가 부족함을 알 수 있다. 즉, 이와 동일한 불량반입을 운반하기 위하여 다른 대체수단을 강구하여야 함을 의미한다.

시뮬레이션을 통하여 매립토의 운반에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과 지정 토취장까지의 유일한 운반로인 시화방조제 도로를 통하여 공기 내에 운반 가능한 작업물량은 전체의 27%에도 미치지 못함을 알 수 있다. 이는 1일 작업시간을 24시간으로 증가시켜도 공기 내에 작업종료가 불가능함을 의미한다. 따라서 토취장을 보다 가까운 곳에 선정하거나, 나머지 물량을 대체수단(바지선 운반, 준설토 운반 등)을 통하여 운반하여야 함을 알 수 있었다. 그러나 이러한 방법들은 환경, 비용 측면에서 비경제적이거나 보다 부담스러운 수단들로 그 수요를 최소화 하여야 할 것이다.

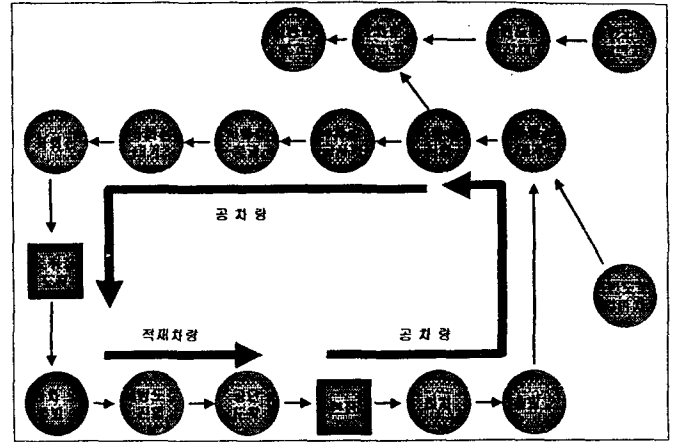


그림 2. 시뮬레이션 모델 개념도

표 1. 현황 데이터

| 번호 | 구분 | DATA | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|---|-------|----------|----------|--|----------|------------------|------|----------|----------|-------|----------|----------|
| 1 | - 1번도로 기존 교통량 중 좌회전(시화호 진입) - 우회전 교통량(시간당) | - 좌회전 : 362 PCU/H - 우회전 : 276 PCU/H* (*PCU/H: 모든 차량대수를 승용차대수로 환산) | | | | | | | | | | | | |
| 2 | - 2번도로 기존 교통량 중 직진(시화호 통과) - 좌회전 교통량 | - 직진 : 657 PCU/H - 좌회전 : 345 PCU/H | | | | | | | | | | | | |
| 3 | - 방조제 도로에서 1번 또는 2번 도로로 진행하는 전체 기존 교통량 - 그중 2번 도로로 진입하는 차량의 대수 | - 797 PCU/H - 521 PCU/H | | | | | | | | | | | | |
| 4 | - 토취장에서 제방도로로 통과하는 교통량 | - 대부도→시화산업단지 : 797 PCU - 시화산업단지→대부도 : 1,019PCU | | | | | | | | | | | | |
| 5 | - 1회 신호등 변경주기 (적색 또는 청색 신호등 지속시간) | <table border="0"> <tr> <td>월곳 LC</td> <td>1phase :</td> <td>10초(3차로)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2phase :</td> <td>All-red 27초(3차로)</td> </tr> <tr> <td>안산시청</td> <td>3phase :</td> <td>27초(3차로)</td> </tr> <tr> <td>시화방조제</td> <td>4phase :</td> <td>74초(3차로)</td> </tr> </table> | 월곳 LC | 1phase : | 10초(3차로) | | 2phase : | All-red 27초(3차로) | 안산시청 | 3phase : | 27초(3차로) | 시화방조제 | 4phase : | 74초(3차로) |
| 월곳 LC | 1phase : | 10초(3차로) | | | | | | | | | | | | |
| | 2phase : | All-red 27초(3차로) | | | | | | | | | | | | |
| 안산시청 | 3phase : | 27초(3차로) | | | | | | | | | | | | |
| 시화방조제 | 4phase : | 74초(3차로) | | | | | | | | | | | | |
| 6 | - 제방도로의 거리 | - 12.7km | | | | | | | | | | | | |
| 7 | - 토취장내 운반(토취장 ~ 시화방조제 입구) - 현장 내 운반(시화방조제 종점 ~ 현장내 진입) | - 8분 - 13분 (현장입구 ~ 현장내 진입 1.2분 포함) | | | | | | | | | | | | |
| 8 | - 각 공구의 토공불량 | - 전체 : 42,000,000m ³ , 1공구 : 13,000,000m ³ - 2공구 : 7,100,000m ³ , 3공구 : 7,100,000m ³ - 4공구 : 8,400,000m ³ , 5공구 : 6,400,000m ³ | | | | | | | | | | | | |
| 9 | - 평균교통량 - 야간교통량 - 하루교통량 | - 침두시 교통량 ÷ 0.09 = 일평균교통량 - 일평균교통량의 31% (주간 69%) - 일 교통량을 평균교통량으로 본다. | | | | | | | | | | | | |

표 2. 덤프트럭 투입대수의 변화에 따른 1일 작업가능 물량 및 교통 혼잡도

| 덤프트럭(대) | 1일 운반(회) | 신호 대기트럭 추이 |
|---------|----------|--|
| 200 | 946 | 초기단계에서 최대 90대까지 증가하였다가 감소하여 신호 대기에 의한 차량의 지체는 받지 않는 것으로 평가됨(그림3) |
| 300 | 1216 | 초기 140여대에서 점차 줄어 50여대에서 수렴(그림4) |
| 400 | 1320 | 최대 180대에서 점차 줄어 평균 150여대에서 지속됨(그림5) |
| 500 | 1425 | 점차 증가하여 200여대에서 지속됨(그림6) |
| 600 | 1528 | 점차 증가하여 350여대에서 지속됨(그림7) |
| 800 | 1734 | 작업 시작 후 2시간 40여분 지나면 신호대기 차량 대수가 증가하여 500대 이상에서 지속됨(그림8) |

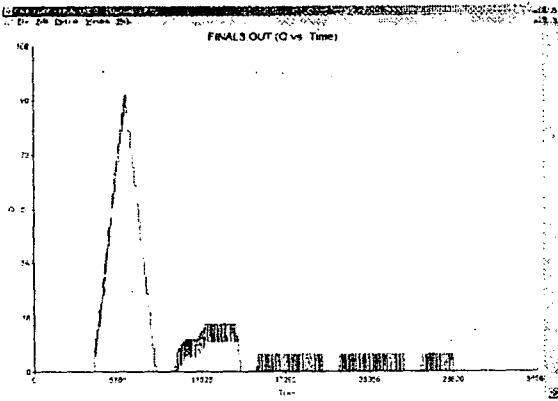


그림 3. 신호대기 차량 대수추이(200대)

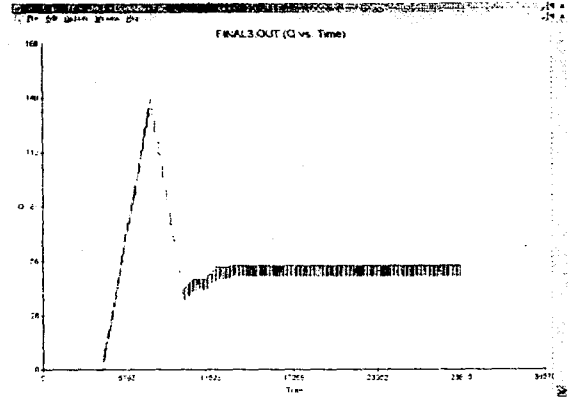


그림 4. 신호대기 차량 대수추이(300대)

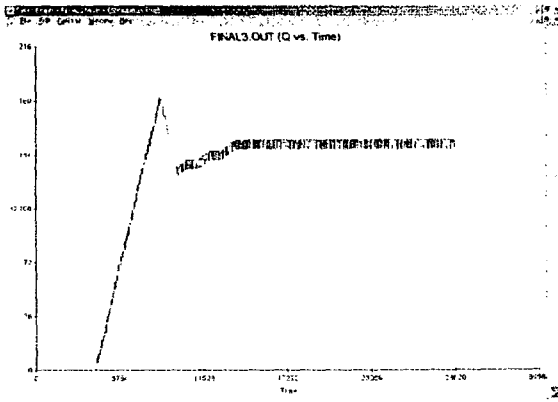


그림 5. 신호대기 차량 대수추이(400대)

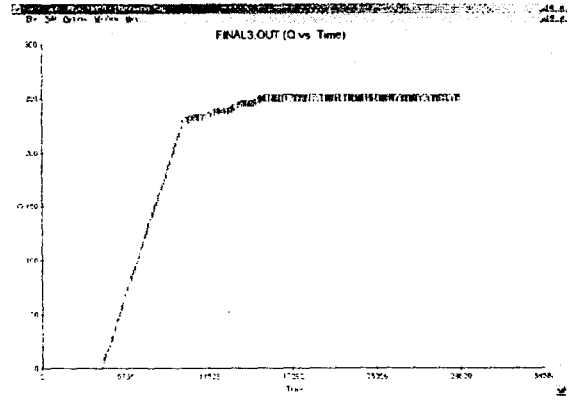


그림 6. 신호대기 차량 대수추이(500대)

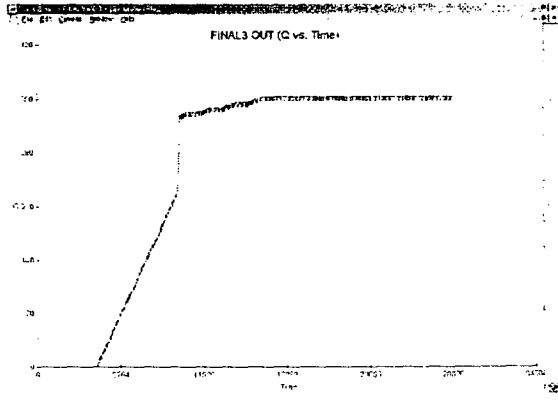


그림 7. 신호대기 차량 대수추이(600대)

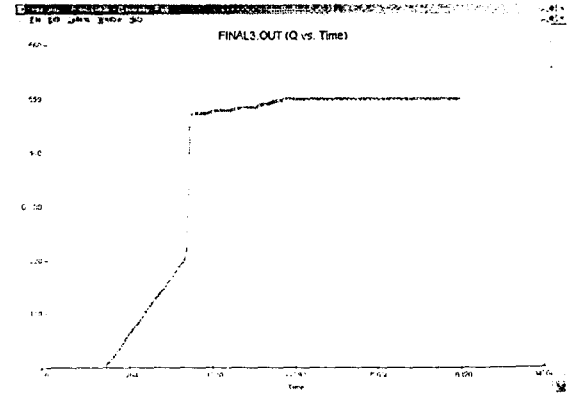


그림 8. 신호대기 차량 대수추이(800대)

4. 결론

본 연구에서는 시화 멀티테크노밸리를 대상으로 하여 시뮬레이션을 수행하고, 주어진 현장조건하에서 공기 내에 공사를 마칠 수 있는지를 검토하였으며, 경제적 측면에서의 공사수행 대안에 대한 필요성을 파악하였다. 시뮬레이션의 적용을 통하여 단순 덤프트럭 만에 의한 매립토의 운반을 통해서 공기 내에 작업을 종료할 수 없음을 파악할 수 있었으며 작업수행 대안으로 토취장을 보다 가까운 곳에 선정하거나, 나머지 물량을 대체운반수단(바지선 운반, 준설토 운반 등)을 통하여 운반하여야 함을 알 수 있었다. 그러나 이러한 공사수행들은 비용 및 환경 측면에서 비경제적이거나 부담이 있는 수단들로 그 수량을 최소화 하는 것이 바람직하다. 본 연구를 통하여 가장 경제적인 공사수행 방법에 의한 작업가능 물량을 검토하고, 불가능한 최소한의 부분들에 대하여 차선의 대안을 선택하도록 함으로써 실제 공사에서 시뮬레이션의 효용성을 검증하였다. 이처럼 시뮬레이션은 반복적으로 수행되는 토목공사에 있어서 최적의 자원 투입을 위한 의사결정, 시간과 비용 측면에서의 효율적인 계획을 지원하는 중요한 도구를 제공함을 알 수 있다.

참고문헌

1. 김경주, "여객기 터미널 포장공정의 생산성 향상을 위한 불연속 사건 시뮬레이션 적용연구." 2000, 7. 대한토목학회 논문집, p403 ~ 412
2. Pritsker, A.A.B. (1986). *Introduction to simulation and SLAM II*, Systems Publishing Corp., West Lafayette, Indiana.
3. Schruben, R. E. (1992). *SIGMA: A graphical simulation modeling program*, The Scientific Press., South San Fransco, CA
4. Shannon, R. E. (1975). *System Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.

Abstract

As an alternative to overcome the limitations of current popular schedule system such as Bar Chart, PERT, CPM in proving the feasibility of a given project schedule and duration, this research applies simulation to the "Shiwha Techno-Valley project, and then reviews its usability in time management. Shiwha-Techno-Valley is a gigantic project requiring large number of equipment and resulting in traffic congestion. In particular, project site is located near the Shiwha industrial complex and Daeboo-Do tourist place. Therefore, current traffic needs should not be ignored. This research evaluates whether the project can be finished in a given time even if construction equipment increase in addition to the current traffic. Through the analysis of the simulation output, the research identifies the optimal resource input and the needs on alternative schedule for the project.

Keywords : Discrete event simulation, construction management, schedule, earth work operations
