

# 시뮬레이션을 활용한 지하가설물 설치작업의 생산성 측정 및 검증에 관한 연구

Study under productivity measurement and verification of the underground temporary material installation work by simulation technique

배연진<sup>1</sup> ○ 박상혁<sup>2</sup>      한승헌<sup>3</sup>      백준홍<sup>4</sup>        
Bae, Yeon-Jin Park, Sang-Hyuk Han, Seung-Heon Paek, Joon-Hong

## 요 약

최근 건설시장의 경쟁이 치열해지고, 건설생산성을 향상시키는 것이 기업의 경쟁력 확보라는 인식이 높아짐에 따라 건설업에서도 생산성과 효율성에 대한 관심의 중요도가 증대되고 있다. 본 연구에서는 기존의 생산성 측정 방식을 활용한 사례조사를 통해 생산성을 측정하고 측정된 내용에 근거하여 작업개선사항을 제시하였다. 제안된 개선사항은 시뮬레이션(simulation)기법을 통해 검증하였다.

본 논문의 의의는 생산성 측정을 분석하는데 있어 시뮬레이션 기법이 현장여건을 모두 고려한 최적의 대안은 아니지만 현장관리자로 하여금 상황에 적합한 최적의 작업방식을 선택하게하고 생산량을 예측할 수 있는 방법을 제시했다는 점에 있다.

키워드: 생산성, 시뮬레이션, 지하가설물, Extend 모델

## 1. 서 론

건설 산업은 노동집약적이면서 옥외이동생산으로 인력 공급, 기상조건 및 지역적인 환경 영향에 따라 작업능률이 크게 좌우되는 특성을 가지고 있다. 이와 같은 특성으로 인하여 건설현장에서의 생산성은 타 산업에 비해 낮은 경향을 보이고 있다<sup>1)</sup>.

최근 건설시장의 경쟁이 치열해짐에 따라, 건설생산성을 향상시키는 것이 기업의 경쟁력 확보라는 인식이 높아짐에 따라 건설업에서도 생산성과 효율성에 대한 관심의 중요도가 증대되었다<sup>2)</sup>.

그러나 생산성과 효율성에 대한 측정은 그 중요도에 비해 실무적용이 매우 미약한 수준이다. 문헌적으로는 생산성 자료가 현장에서 어떻게 구체적으로 이용할 수 있는가에 대한 연구가 부족하고, 현업에서는 생산성의 측정방법이 정립되지 않았고 시공능력과 관련된 실질적인 생산성 자료도 찾아보기 어렵기 때문이다.

따라서 본 연구는 실제 공사현장을 대상으로 하여 시뮬레이션을 통한 작업생산성을 측정하고 작업방법의 변화에 따른 개선방안을 도출하여 생산성 향상을 위한 최적의 방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

그림 1은 현장조사연구 및 분석절차를 나타낸다.

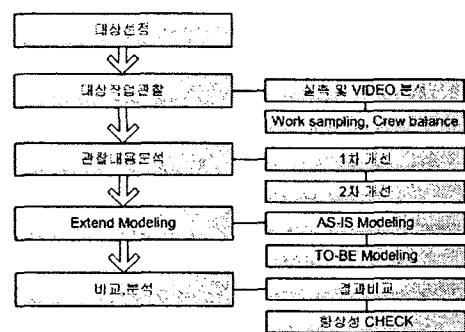


그림 1. 현장조사 연구 및 분석 절차

## 2. 건설 생산성과 시뮬레이션

### 2.1 생산성의 정의

생산성을 한마디로 정의하면 어떠한 생산체계 (Production System)를 통해 일련의 생산품을 일정기간 동안 생산해 낼 때 투입된 자원(Input)의 양과 그로 인해 발생된 결과물 또는 산출물(Output)의 비로 표현할 수 있다.

\* 학생회원, 연세대학교 건축공학과 석사과정  
\*\* 학생회원, 연세대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\* 중신회원, 연세대학교 토목공학과 교수, 공학박사  
\*\*\*\* 중신회원, 연세대학교 건축공학과 교수, 공학박사

1) 이태식, 워크샘플링을 이용한 건설현장 생산성 측정에 대한 연구  
2) 손정욱, 건설공사 생산성 측정방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2003

투입자원이나 산출물이 무엇이나에 따라 여러 가지 측정방법이 있을 수 있으나 생산성 측정목적은 그 유형에 관계없이 일정하다. 즉, 기존의 생산체제 또는 생산 활동의 문제점과 개선점을 발견하고 이를 해결함으로써 생산성 향상을 이룩할 수 있고, 이때 개선 전과 개선 후의 생산성을 측정하여 비교분석한다면 생산성이 얼마나 향상되었는가를 객관적으로 평가할 수 있을 것이다. 생산성 측정의 목적은 생산성 향상의 노력을 평가하기 위한 것이다<sup>3)</sup>.

### 2.2 건설에서의 시물레이션

시물레이션이란 "현실 문제를 반영하는 모형을 만들어 실험을 함으로써 현실 문제를 이해하고 여러 가지 대안의 결과를 예측하는 기법으로 다양한 조건하에서 시스템의 수행능력을 평가 할 목적으로 현실시스템이나 목표하는 시스템에 대한 모델을 만드는 것이다"<sup>4)</sup>.








건설에서 시물레이션은 건설 프로젝트 초기단계부터 시공단계까지 전 과정에 걸쳐 활용될 수 있다. 본 논문에서는 시공단계 중 현장생산을 중심으로 하여 작업생산성 향상을 위한 연구방법으로 시물레이션을 활용하였다.

건설생산에 있어 활용되고 있는 시물레이션은 CYCLON, RESQUE, CIPROS 등의 프로그램이 사용되고 있으나 본 연구에서는 EXTEND6.0을 이용하였다.

Extend 프로그램은 다른 시물레이션(simulation) 프로그램들에 비해 많은 장점이 있다. 첫째, block들을 화살표로 연결만 하면 빠르게 모델링 할 수 있어 사용자가 손쉽게 사용할 수 있다. 둘째, 모델링 한 시스템의 작업과정과 각 block들이 어떤 상관관계가 있는지 등을 그래픽으로 보여 주어 사용자가 이해하기 쉽다. 셋째, 각 작업사항마다 효율성 측정이 가능하여 프로세스 상 문제점 발견 가능성이 쉽다. 넷째, 최적의 작업 조합 도출하여 최대 작업량 예측이 가능하다. 다섯째, 목표량에 도달하기 위한 적극적인 대안을 제시 한다<sup>5)</sup>.

본 연구에서 사용된 block들의 기능은 다음과 같다.

표 1. Extend 각 block의 기능

block 종류	기능
	일정 시간 간격에 따라 item을 공급하는 generator, 외부로부터의 자재반입을 조정함
	주어진 식에 의해 두 가지 대안 중 결정을 내리는 decision, 반입된 자재를 두 적재장소 중 적은 곳으로 분배함
	holding, sorting ranking하는 Queue, 자재의 가공 및 이동작업에서의 대기기를 나타냄
	작업의 delay time을 나타내는 activity, 토류판 설치, 뒷채움에 걸리는 작업 시간을 의미함
	분포를 나타내는 random number, 실제로 측정한 각 작업들의 작업시간을 분배 적용함
	human labor를 model에 공급하는 labor pool, 작업자 수를 표시함
	작업이나 과정, 대기 등을 나타내는 operation variable, 다양한 자원을 작업으로 연결함

## 3. 사례연구 (Case study)

### 3.1 현장개요 및 대상작업 선정

본 연구의 적용대상은 현재 시공 중인 서울시 지하철 건설공사 현장에서 지하가시설물 중 토류판을 설치하는 작업이다.

표 2. 현장개요

공사명	지하철 9호선 000공구 건설공사
위치	서울시 00구 00동 00아파트 앞 ~ 종점
공기	2001년 00월 00일 ~ 2007년 00월 00일 (72개월)
규모	총연장: 1,950m(농경지 : 1,450m, 도심지 : 500m) 본선: 연장 = 1,620m(R.C Box Type), 환기구 5개소

지하가시설물 설치작업 중 토류판 설치작업을 선택하게 된 이유는 첫째, 자재 적재장소가 협소한 도심지공사여서 자재의 적재관리가 중요하고, 둘째, 단순 반복 작업이므로 작업자의 적절한 배치나 원활한 자재공급, 그리고 간단한 작업 개선으로도 생산성향상에 큰 효과를 볼 수 있을 것이라고 판단하였기 때문이다.

토류판 설치작업 중 생산성을 측정하기 위해 관찰하고 모델링을 실시한 주요 작업 cycle은 그림 2와 같다. 자재는 장비를 통해 외부에서 반입되어 적재장소에 위치한다. 토류판 설치를 위한 공간을 확보하기 위해 벽체를 굴착하고, H-beam 간격에 맞게 자재를 가공하며, 설치장소로 이동하여 토류판을 설치한 다음 뒷채움을 실시하면 하나의 작업이 완료되고, 이 작업들은 반복적으로 수행된다.

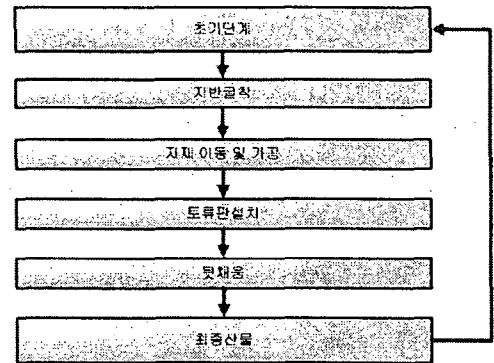


그림 2. 토류판 설치작업 순서

### 3.2 기존 작업 분석(As-Is)

기존 작업의 작업자 배치를 보면 반입된 자재는 두 개소로 나뉘어 보관되고 작업자 A, B, D는 각각 작업장 1, 2, 4에서 토류판을 설치한다. 여기서 작업자 C는 작업장 3에서 토류판 설치작업을 보조하고 동시에 자재이동을 지원하는 역할을 수행한다(그림 3 참조). 여기서는 생산성 측정을 위한 방법으로 워크샘플링과 작업조 편성의 적정화 차트(Crew-balance chart)를 이용하였다.

3) 한국건설산업연구원, 건설관리 및 경영, 보성각, 1997

4) 김재연, 컴퓨터 시물레이션, 박영사, 1994.2

5) Extend 6.0 User's Guide

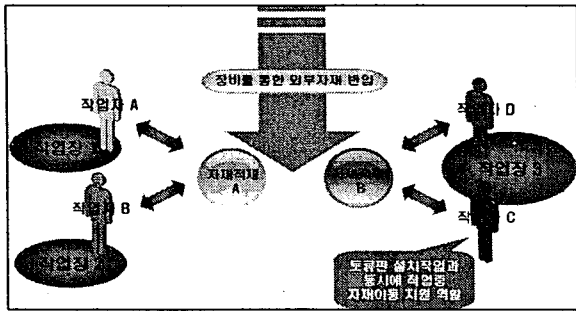


그림 3. 기존작업방식(AS-IS)

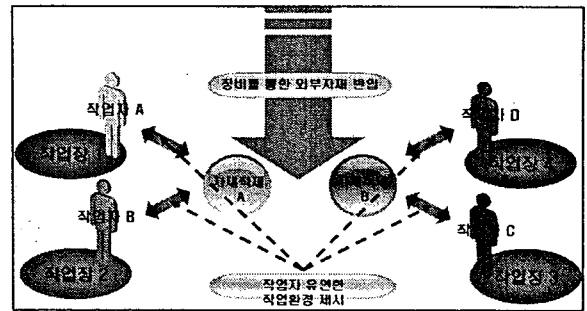


그림 4. To-Be 모델

### 3.2.1 work sampling을 통한 생산성 측정

대상작업의 작업유형은 설치 공간 확보를 위한 벽체굴착, 토류판 삽입, 뒤채움을 하는 직접작업(Direct Work), 자재를 운반하고 설치장소의 크기에 맞게 가공하는 지원 작업(Support Work), 그리고 휴식 및 대화와 같은 비작업(No work)으로 구분하여 생산성을 측정한다.

표 3. 작업유형 구분

직접 작업	설치공간확보, 토류판 삽입, 뒷채움
지원 작업	이동, 가공
비작업	휴식, 대화

측정방법은 작업자4명을 대상으로 관찰주기 1분으로 총 60분동안 관찰하였고 work sampling기법을 통해 측정하였다. 조사된 결과를 보면 직접작업의 비율이 61%로 비교적 높은 효율을 나타냈는데 이는 작업장소가 한정되어 있어 작업자의 이동의 적고 작업내용이 분명하기 때문으로 판단된다(표4 참조).

표 4. 작업유형별 생산성의 측정

직접 작업	지원 작업	비작업	계
142(61%)	55(23%)	38(16%)	235(100%)

### 3.2.2 작업조 편성의 적정화(Crew-balance study)

측정방법은 기존 작업의 비디오(video) 촬영을 바탕으로 작업자들이 각 작업에 투입된 시간을 비율로서 구성한 작업조 편성의 적정화 차트를 이용하였다. 측정내용을 보면 작업자 C의 대기 시간(idle time)이 다른 작업자에 비해 높다. 이것은 작업장 3에서 작업하고 있는 작업자 C가 작업장 3에 집중되어 타 작업장의 협조가 부족하기 때문이다.

### 3.3 작업개선 방안(To-Be)

작업 개선은 워크샘플링(work samplnig)과 작업조 편성의 적정화(crew-balance study)를 통해 분석한 결과를 바탕으로, 1차적으로 기존 작업에서 작업자 4명에게 유용성을 부여하였고 2차적으로 작업장 1개소를 추가하였다(그림4. 참조).

### 3.3.1 워크샘플링을 활용한 작업개선 결과분석

워크샘플링(Work sampling)을 활용하여 1, 2차에 걸쳐 개선작업을 실시하였다. 1차 개선은 작업자들에게 담당 작업구역의 한정을 두지 않고 필요에 따른 이동을 제시하였다. 그 결과 개별 작업에서 발생하였던 지체시간이 감소하였고 직접작업의 생산성은 5%향상되었다. 2차 개선은 1차 개선의 방식으로 작업장 1개소를 추가하여 작업을 진행하였다. 그 결과 직접작업의 생산성이 15%증가되었고 작업장의 간섭현상이 크게 해소되었다. 따라서 워크샘플링을 활용한 작업개선 효과는 전체적으로 27%가 향상된 것으로 나타났다. 이것이 가능한 이유는 토류판을 설치하는 작업 공간이 비교적 협소하여 이동 및 대기시간이 많지 않기 때문이다.

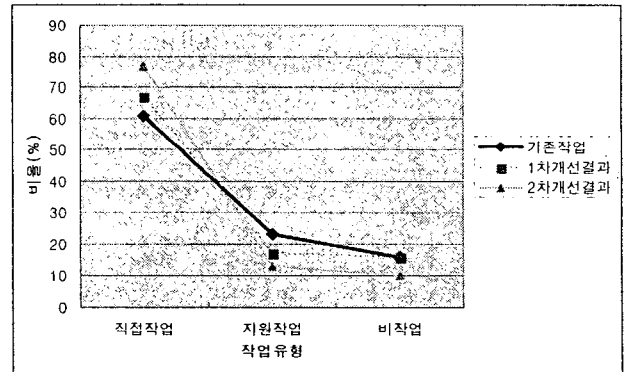


그림 5. 작업유형별 생산성의 개선결과

### 3.3.2 작업조 편성의 적정화를 활용한 작업결과 분석

각 작업자에 대한 일정 시간별 작업내용을 조정하기 위한 방안은 상대적으로 대기시간(idle time)이 많은 작업자 C의 업무를 조정하는 것이다. 작업자 C의 대기시간(idle time)을 줄임으로써 얻을 수 있는 효과는 작업자 C에게 할당된 작업량으로 전체 작업량이 증가할 것이고 다른 작업자에게는 작업상 여유시간을 확보할 수 있어 결과적으로 토류판 설치량을 높이기 위한 작업조 편성의 적정화(crew-balance study)가 가능하다.

측정 결과, 전 작업과정에서 토류판을 설치하기 위한 설치공간 확보가 가장 많은 시간이 소요되었으므로 기존작업에서 설치공간 확보를 작업자 C가 전담으로 실시한다고 가정하였다(그림8).

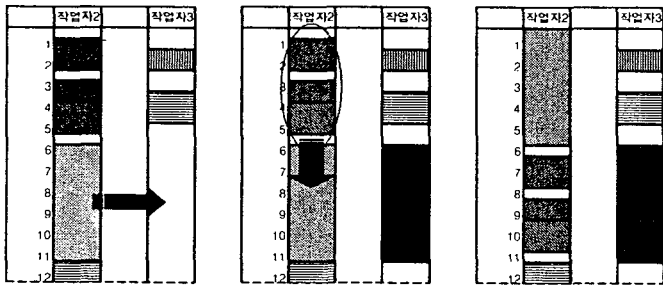


그림 6. crew-balance study

유연한 작업 장소 이동 결과는 작업자 A, B, D의 시간절약(time saving)을 통해 각 작업자의 여유시간 확보가 가능하였고 이것은 작업의 흐름을 원활하게 하는 역할을 수행하였다(표5. 참조).

표 5. 작업자별 시간절약(Time Saving)을 통한 여유시간 확보

구분	작업자A	작업자B	작업자D
시 간	10.48%	14.52%	11.29%

#### 4. Extend Modeling을 통한 성과측정

##### 4.1 Modeling 작업을 위한 가정 사항

대상 작업을 모델링하기 위해서 다음과 같은 사항을 가정하였다.

- 외부에서 수급되는 토류판 자재는 한 묶음에 30개로 균일하다.
- 자재를 운반하는 백호의 이동은 자재운반 작업만을 전담한다.
- 자재의 배분은 두개의 적재장소 중 적은 쪽을 우선으로 적재한다.
- 작업자는 한번에 한 개의 토류판을 설치한다.
- 설치 공간 확보 작업은 작업장 2곳에서 동시에 실시한다.
- 하루 8시간(480분)기준으로 토류판 설치량을 대상으로 비교분석한다.

시뮬레이션 모델링을 하기 위해 입력되는 작업시간은 비디오 측정값의 평균값으로 산정하였다(표6 참조).

또한 투입 작업 인원 및 투입 자재량은 2인 2개조이면서 90분마다 자재가 지급되는 것으로 하였고 측정시간은 1일 8시간으로 하였다(표7 참조).

표 6. 작업시간 입력자료

구분	site#1	site#2	site#3	site#4
Space Avail.	2.2 분		2.4 분	
Install	0.6 분	0.8 분	0.8 분	0.8 분
Back Fill	1.4 분	1.2 분	1.2 분	1.3 분
Transportation	2.4 분			2.6 분

표 7. 작업인력 및 자재 입력자료

구분	내용	수량
작업인원	2인 2개조	4명
투입 자재량	90분마다 지급	30개
총 시뮬레이션 시간	하루 8시간	480분

#### 4.2 Modeling(As-Is)

기존 작업의 Extend Modeling 내용은 다음과 같다. 우선 자재가 외부에서 반입되면 두 곳으로 나누어 적재한다. 첫 번째 적재장소에 위치한 자재는 각각 작업자 A, 작업자 B에 의해 가공되고 작업장 1, 2로 이동되어 설치, 뒷채움 과정을 거쳐 작업이 완료된다. 두 번째 적재장소에 위치한 자재는 작업자 C, 작업자 D에 의해 가공되어 작업장 3으로 이동하여 설치, 뒷채움 과정을 거쳐 작업이 완료된다.

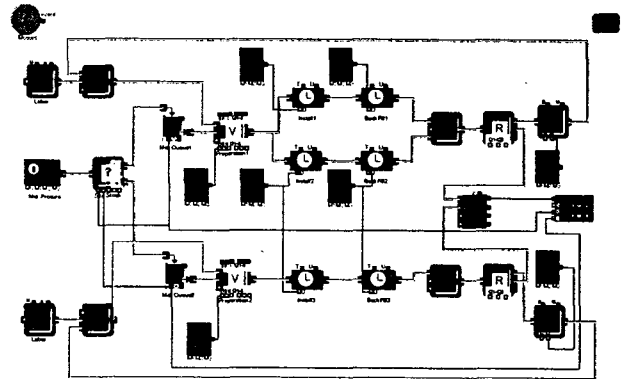


그림 7. As-Is Model

#### 4.3 Modeling(To-Be)

1차 개선방안은 각각의 작업장소로 구분된 인력의 이동을 인력공동이용(Labor Pool)으로 Extend Modeling한 것이다. 즉 기존작업에서 작업자 A, B, C, D가 자유롭게 작업장 1, 2, 3으로 이동하여 설치할 수 있도록 수정한 모델이다.

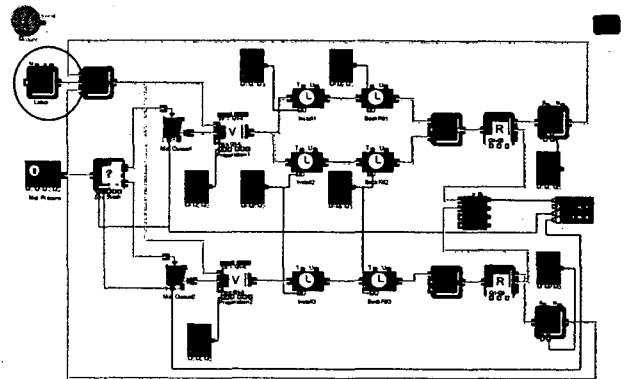


그림9. 1차개선방안

2차 개선은 작업장4를 추가한 것이다. 즉 작업자의 자유로운 이동과 동시에 작업장을 한 곳 더 추가한 것이다.

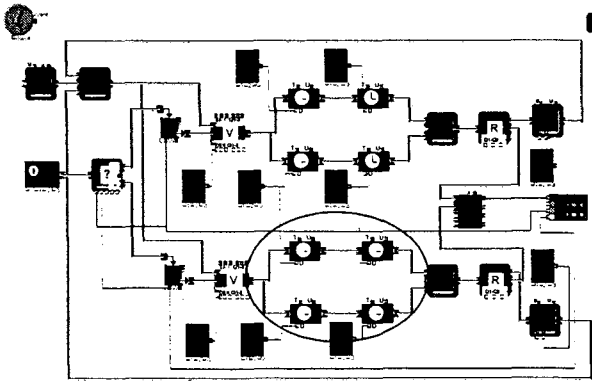


그림 10. To-Be Model 2차 개선방안

#### 4.4 시뮬레이션 분석결과

시뮬레이션한 결과는 그림 10과 11을 비교해 보면 알 수 있다. 그림 10은 기존작업방식으로 중간마다 지연시간(delay time)이 발생하는 것을 볼 수 있고 8시간 작업의 설치량도 92개로 나타났다. 반면에 변경된 작업방식은 그림 11은 지연시간(delay time)발생이 거의 없고 설치량도 같은 시간에 145개로 나타났다. 결과적으로 기존작업에 비해 약 58%의 설치 증가량을 나타내고 있다(표8 참조).

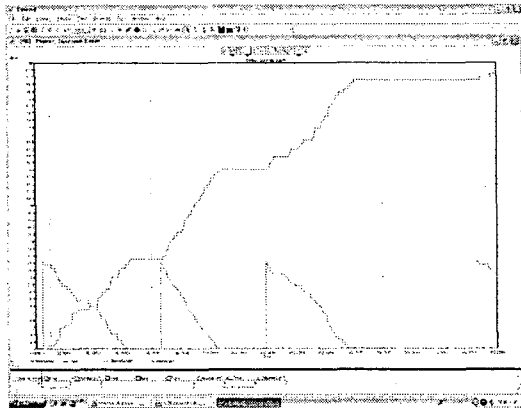


그림 11. As-Is Model의 simulation 결과

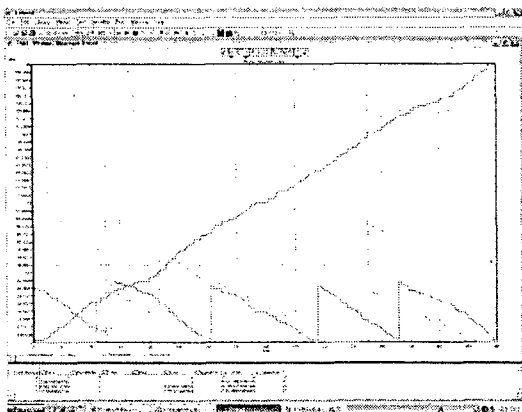


그림 12. To-Be Model의 simulation 결과

표 8. 결과값 비교, 분석

구분	AS-IS	1차개선	2차개선
DATA조합	2개조 작업장 3곳, supply time 90분	4명 작업장 3곳, supply time 90분	4명 작업장 4곳, supply time 90분
8시간 작업량	92 EA	120 EA	145 EA
시간당 작업량	11.5 EA	15 EA	18.1 EA
작업결과	자재부족으로 작업이 수시로 중단됨	일부 자재부족 현상이 있으나 작업량 증가	자재부족 없이 남비없는 작업 진행

시뮬레이션을 통해서 설치량을 최대도 하는 최적의 대안(alternative)을 제시 할 수 있다. 자재공급시간과 작업인부의 수량을 변경하면서 산출한 최대 설치량은 그림 12와 같이 공급시간(supply time)이 30분이고 작업인원이 6명일 경우인 197개로 나타났다.

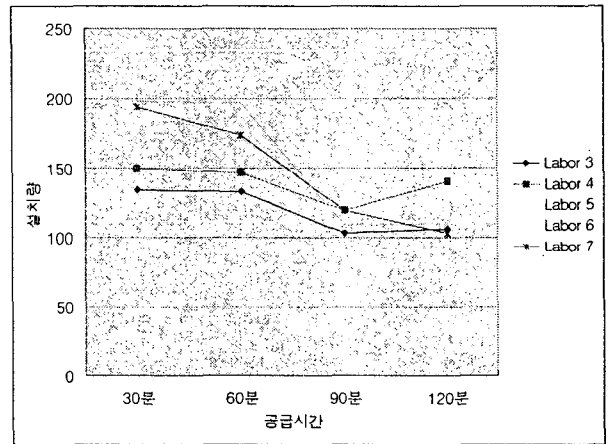


그림 13. 최적대안 결과분석

#### 5. 결론

본 연구에서는 지하철 공사현장에서 토류관 설치작업을 관찰하고 생산성 측정을 위한 분석기법과 시뮬레이션기법을 이용하여 대상작업의 생산성을 분석하였다. 그리고 생산성 향상을 위한 방안으로 작업개선사항을 제시하였고, 이에 대한 개선 전후의 작업효율 향상을 비교분석하였다.

시뮬레이션을 통한 성과측정은 현장에서 발생하는 다양하고 복잡한 사항을 모두 고려할 수는 없지만 작업의 흐름에 있어 큰 영향을 주는 요소들을 이용한 방법이므로 타당함을 가지고 있다.

본 연구는 제시한 작업 방식의 개선이 현장여건을 모두 고려한 최적의 대안은 아니지만 현장관리자로 하여금 상황에 적합한 최적의 작업방식을 선택하게하고 생산량을 예측할 수 있게 하는데 그 의의가 있다.

## 참고문헌

1. 손창백, 건축공사의 생산성 저하요인 분석, 대한건축학회 논문집, 2002
2. 손정욱, 건설공사 생산성 측정방법에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2003
3. 한국건설산업연구원, 건설관리 및 경영, 보성각, 1997
4. 김재연, 컴퓨터 시뮬레이션, 박영사, 1994.2
5. 윤대중, 국내 테크작업의 생산성 증대에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 2003
6. 김예상, 워크샘플링기법을 활용한 작업 효율 향상에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 1997
7. 주진규, 철근공사 생산성 향상을 위한 작업모델 연구, 대한건축학회논문집, 2003
8. 유진호, 슬래브 공법간의 생산성 분석,비교에 관한 연구,
9. 이태식, 워크 샘플링을 이용한 건설현장 생산성 측정에 대한 연구,
10. 김태완, 건설 생산성 제한요인 분석을 통한 생산성달성을 산정 모델, 대한건축학회논문집, 2004
11. 문정문, 건설공정의 낭비제거를 통한 생산성 향상 방안, 한국건설관리학회논문집, 2002
12. 김도형, 공동주택 SYSTEM FORM 공사의 생산성 분석 및 향상방안 제안, 한국건설관리학회논문집, 2001
13. 김경주, 시뮬레이션을 이용한 시화 테크로 벨리 공기 적정성 검토연구,
14. Extend 6.0 User's Guide

---

## Abstract

As it is keen competition of a construction market and the recognition that increases construction productivity for maintaining competitiveness, it is increased importance of an interest about productivity and efficiency in the construction industry. This study measures productivity through the instance of investigation that the existing productivity measurement method was utilized and presented a work improvement matter based on the measured contents. The proposed improvement matter is verified through a simulation technique.

The purpose of this paper is for a field supervisor to have presented the way that a selection does the most suitable work method to be suitable for a situation, and can forecast production, though a simulation technique is not the most alternative that considered field condition in analyzing productivity measurement.

**Keywords :** productivity, simulation, underground temporary material, Extend Model

---