

# 카리프트의 성능 변화에 따른 터널공사 버력처리 공정 생산성 분석 연구

## Research on productivity analysis of tunnel refuse arrangement process due to ability variation of car-lift

이시욱\* · 신정민\* · 우성권\*\*

Lee, Siwook · Shin, Jungmin · Woo, Sungkwon

### 요 약

건설공사에서 장비의 성능은 공사 전반에 걸쳐서 생산성, 효율성, 공사비용과 공사 기간에 큰 영향을 미친다. 시뮬레이션은 효과적인 건설공사 관리를 위하여 공사 장비 및 자재 등의 적절한 조합을 고려하고 실제 공사에 미칠 영향을 예측하고 분석할 수 있는 기법이다. 본 연구에서는 도심지 지하철 터널현장의 버력처리 공정을 대상으로 CYCLONE을 이용하여 모델링을 구축하고, 버력처리 공정에 투입되는 카리프트 장비의 성능에 따른 생산성을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 분석 결과 카리프트 장비의 성능 향상에 따라 생산성이 향상됨을 확인하였으며 이를 통하여 공기의 단축이 이루어질 수 있음을 보여준다.

키워드: 생산성, 시뮬레이션, 터널공사, 버력처리 공정, 카리프트

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

건설 사업은 비정형적이면서 옥외생산이 이루어지게 되므로 인해 기계, 인력, 기후조건 등 외부 요인의 영향을 크게 받으며 불확실성에 대한 리스크가 크다는 특성을 가지고 있다. 특히, 대규모의 물량이 투입되고 반복되는 단위 공정들로 이루어진 터널, 도로, 댐과 같은 유형의 시설물의 건설공사는 사전에 과학적이고 체계적인 분석을 통한 효율적인 계획을 수립함으로써 시간과 비용측면에서 경제적이며 프로젝트 전반의 생산성을 높이는 효과를 기대할 수 있다. 결국, 시공 기술뿐만 아니라 작업자나 공사용 기계 및 자재 등의 가장 적절한 조합을 고려한 면밀한 공사계획 수립에 대한 필요성과 기대효과가 더욱 크다고 할 수 있다.

하지만, 실질적으로 건설작업에 영향을 미치는 요소들은 매우 다양하고 이러한 요소들은 대부분 확정적이지 않은 가변성을 가진다는 특성은 기존의 확정적 분석기법에 근거하여 수립한 건설계획이 최적의 효율성을 가지지 못한다는 한계를 갖는 원인이라 할 수 있다. 이렇게 다양한 불확실성을 가진 대상에 대한 최적의 계획을 수립을

가능하게 하는 대표적인 방법론의 하나가 시뮬레이션(simulation) 기법이다.

시뮬레이션이란 “실제 시스템을 모델화하고 그 모델을 통하여 시스템의 거동을 이해하기 위하여 실험을 하거나, 그 시스템의 운영을 개선하기 위한 다양한 전략을 평가하는 과정을 말한다.”(Shannon 1975) 결국 건설공사계획에 있어서의 시뮬레이션 기법의 활용은 실제 공사를 수행하기 이전에 다양하고 가변적인 상황과 조건들을 고려하여 가상공간인 컴퓨터상에서 공정을 구현함으로써 실제 공사를 수행할 때 발생할 수 있는 제한사항과 문제점을 예측하고 분석해볼 수 있는 기회를 제공하는 것이다. 이러한 사전 분석과 예측을 통하여 기간(time)의 단축, 비용(cost)의 절감, 리스크(risk) 감소 등의 효과를 기대할 수 있다.

이러한 시뮬레이션 기법은 건설 계획에서 활발히 사용되었다고 할 수는 없지만 꾸준한 연구와 개발이 수행되어 왔다고 할 수 있다. 배연진 등(2004)은 시뮬레이션을 활용한 지하가설물 설치작업의 생산성 측정 및 검증에 관한 연구에서 지하철 공사구간에 사용되는 토류관 설치의 작업 방식 변화에 대한 모델링을 수행하였다. 김경주(2004)는 교통흐름을 고려한 장비 계획을 위한 시뮬레이션 모델을 구축하고 공사 장비 투입에 따른 공사의 효율성과 공기의 적정성 등에 대한 연구를 수행하였다. 천진용과 우성권의 연구(2005)에서는 NATM 터널공정에 대한 시뮬레이션 모델링을 구현하고 생산성 향상 분석을

\* 일반회원, 인하대학교 대학원 토목공학과, 석사과정

\*\* 종신회원, 인하대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

수행한 바 있다.

본 연구는 NATM 공법에 의한 지하철 터널 공사를 대상으로 시뮬레이션 기법을 이용하여 현장에서 버력처리 공정에 사용되는 장비인 카리프트(Car Lift)의 성능 변화에 따른 작업 생산성과 효율성을 분석하는 것을 목적으로 한다. 버력처리 공정에 대한 시뮬레이션 분석을 수행하는 이유는 터널구간내의 발파공정 이후 쌓여 있는 버력을 처리하지 못하면 후속 공정이 진행될 수 없기 때문에 정해진 공기를 준수하기 위해 버력처리가 신속히 이루어져야한다는 점 때문이다.

## 1.2 연구 범위 및 방법

본 연구의 범위는 NATM 공법에 의한 지하철 터널 공사를 대상으로 하며, 특히 카리프트를 활용한 버력처리 공정을 중심으로 시뮬레이션 모델을 개발하고 장비 성능 변화에 따른 생산성 분석을 수행하였다.

시뮬레이션 모델링은 CYCLONE을 이용하였으며, WEB-CYCLONE을 통해 생산성 분석을 실행하였다. CYCLONE은 프로세스 중심의 시뮬레이션으로서 공사 과정을 작업 단위(Work Task)로 분할하고 이들의 관계를 사건의 순서와 관련된 논리(logic)를 통하여 현실세계를 도식적인 표현으로 나타낸다. 참고로 CYCLONE의 프로세스(Process)는 3가지 기본적인 도식적 요소를 사용함으로써 모델링된다. 기본적인 도식은 QUEUE, node, ARCs, 작업 단위를 모델화하는데 사용되는 요소(NORMAL, COMBI)등이 있다.

## 2. 현장 개요 및 데이터 측정

### 2.1 현장개요 및 대상 공정

본 연구의 대상 현장은 인천공항철도 공사 구간 중 총 연장 2,180m의 구간이다. 00건설이 시공을 수행하고 있는 이 공구는 터널 연장 1,855m에 대하여 NATM 공법을 이용하여 72개월의 공기를 목표로 공사가 이루어지고 있다.

현장에서 버력처리 공정에 사용되는 장비는 덤프트럭과 페이로더, 그리고 카리프트로 구성된다. 이 장비들 중 지하철 터널공사에 사용되고 있는 카리프트는 그 비용이 다른 장비에 비해 고가이며, 동적이지 않고 설치된 위치에서 수직의 움직임만 보인다는 점에서 카리프트는 전체 CYCLE TIME에 영향을 미치는 중요한 요소로 파악되었다.

### 2.2 현장 조사 및 현장 데이터 측정

현장이 1일 2회 발파를 기본으로 공사를 수행되고 있었기 때문에 전체 공정은 12시간을 기본 단위로 하고 있었다. 1회 발파, 굴착 후 발생하는 버력의 양은 터널의

단면적이 대략 75m<sup>2</sup>이며 발파 시 굴진장이 1.2m이므로 약 90m<sup>3</sup> 정도 되었다. 현장 기준으로 이는 15ton 덤프트럭으로 대략 10대정도 되는 분량이다.

터널공사의 버력처리 공정은 덤프트럭이 카리프트를 통하여 수직구를 내려가 막장을 이동한 후 페이로더에 의해 적재를 받아 다시 이동 후 카리프트를 통해 지상으로 올라와 덤프를 하는 순서로 한 사이클이 형성된다. 이 사이클은 반복적으로 수행된다. 버력처리 공정과 관련되는 현장 사진은 그림 1에 제시되었다.

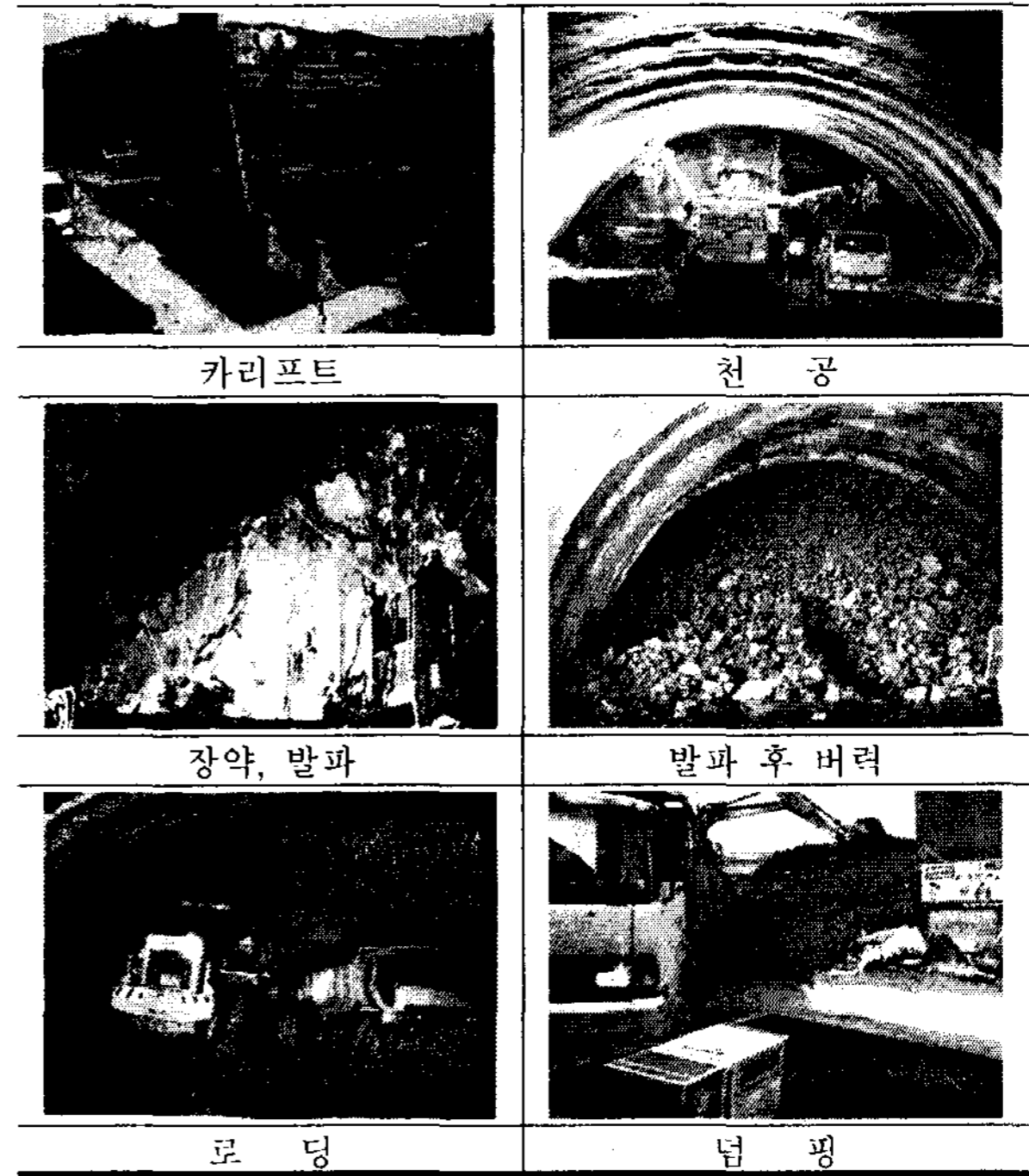


그림 1. 현장 사진

본 연구에 사용된 현장 데이터는 버력처리 공정 전체에 관여하는 덤프트럭을 중심으로 측정되었다. 측정자가 덤프트럭에 함께 탑승한 후 타이머를 통하여 반복적으로 데이터를 수집한 후 모든 데이터를 취합하여 CYCLONE 모델링에 평균값과 최소값, 최대값을 제시하여 분석하는 절차를 거쳤다.

## 3. 시뮬레이션 모델 개발과 분석

### 3.1 기본 가정 및 제한 사항

본 연구에서 시뮬레이션을 통한 비교 분석 대상은 카리프트를 이용한 버력처리 공정으로 제한하였다. 카리프트는 고가이기는 하지만 한번 설치로 공사 기간 동안 지속적으로 사용되어 그 시간당 비용 등을 단순 산술 계산을 하였을 때 오히려 덤프트럭이나 페이로더보다 적은 비용이 드는 것으로 파악되었다.

또한, 카리프트 설치를 위해 수직갱을 뚫고 공사 후 이곳에 배기시설이 설치되는 특성 때문에 공사구간에 2군

데 이상 카리프트를 설치할 수 없으므로, 카리프트의 대수는 증가할 수 없다고 전제하였다. 이에 본 연구에서는 카리프트의 대수 증가가 아닌 성능의 변화에 대한 분석을 수행하였다.

### 3.2 모델링 구축

본 연구에서는 도심지 지하철 터널공사의 버력처리 공정에 대하여 모델링 구축을 실행하였다. 해당 지하철 터널 현장은 도심지 공사이기 때문에 카리프트를 이용한다는 특징을 가지고 있었다.

버력처리 공정의 프로세스는 트럭 갱외 이동(빈차) → 카리프트 하강(빈차) → 트럭 갱내 이동(빈차) → 버력 적재 → 트럭 갱내 이동(만차) → 카리프트 상승(만차) → 카리프트 갱외 이동(만차) → 덤프 순으로 사이클이 반복된다. 이 공정을 CYCLONE을 통하여 구현한 모델은 그림 2와 같다.

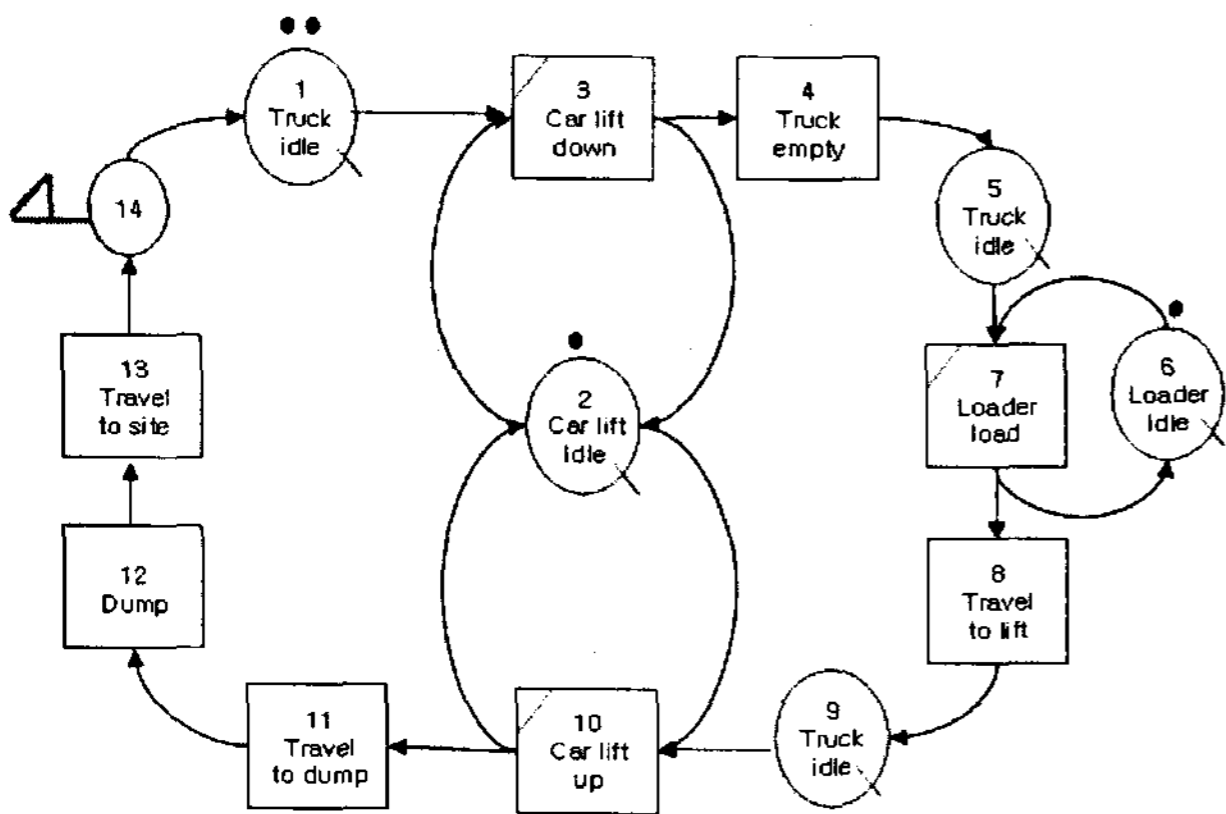


그림 2. 버력처리 공정의 시뮬레이션 모델

표 1. CYCLONE 모델링을 위한 기본 요소 (Halpin,1992)

Name	Symbol	Function
Normal		delay없이 하나의 resource가 수행하는 작업을 모델링
Combination (COMBI) Activity		선행에 반드시 queue를 가지며 2개의 resource가 만날 때의 상태
Queue Node		처리를 기다리는 상태를 모델링
Accumulator		1회 사이클의 완료를 모델하는데 사용
Arc		resource의 흐름을 도식적으로 표현

한 사이클 안에는 현장의 상황과 동일하게 2대의 덤프

트럭과 1대의 카리프트, 1대의 페이로더가 존재한다. 여기서의 한 사이클은 Queue node(1:Truck idle)에서 시작하여 Accumulator(14)로 끝나며, Accumulator는 사용자가 정해주는 사이클 횟수만큼의 사이클을 운영하고, 시뮬레이션을 종료하게 한다. 참고로 모델링에 사용되는 모델링 요소의 대한 설명은 표 1과 같다.

### 3.3 데이터 분석

도심지 지하철 터널공사에 사용되고 있는 카리프트는 과거 8m/min의 속도로 수직이동을 하였으나 현재 현장에서 사용되고 있는 현장에서는 대략 47m의 수직갱을 운행하는 카리프트의 속도를 초기에는 약간 느리게, 중간에는 빠르게, 후반에는 다시 약간 느리게 조정하고 있었으며, 그 평균 속도는 약 13m/min 정도 되었다. 현재 사용

표 2. 카리프트 사양

모델명	카리프트(000-00000)
LIFT규격	10m×4.1m
인양속도	3.75~15m/min(inverter 속도제어)
정격하중	42000kg(달기구 제외)
LIFT의 실양정	65m

되고 있는 카리프트의 사양은 표 2와 같다.

현장이 1일 2회 발파 공정이었고 1회 발파 시 10회 사이클 분량의 버력이 발생하므로 총 20회 사이클에 해당하는 데이터를 측정하였다. 이 중에서 현장 여건상 부정확하다고 판단되는 데이터 5회를 제외한 15회 측정에 대한 평균, 최대, 최소 사이클 타임을 분석하였다. 현장 조사를 통하여 연구의 비교 대상인 현재 사용되고 있는 카리프트의 평균 속도 13m/min일 때의 사이클 타임 데이터를 측정된 결과는 표 3과 같으며, 이를 통하여 얻어진 데이터를 다른 공종은 동일하다보고 카리프트의 평균 속도가 8m/min일 때의 조건으로 환산하여 정리한 결과는 표 4와 같다.

표 3. 공종별 CYCLE TIME DATA

장소	작업 내용	평균 소요시간	최대 소요시간	최소 소요시간
카리프트	카리프트 하강	3분 42초	3분 47초	3분 39초
갱내	공차 후진 이동	5분 17초	8분 18초	4분 53초
막장	적재	2분 14초	2분 53초	1분 59초
갱내	만차 전진 이동	4분 52초	7분 29초	3분 11초
카리프트	카리프트 상승	3분 45초	3분 49초	3분 40초
갱외	만차 갱외 이동	1분 21초	1분 48초	1분 4초
덤프장	덤프	38초	48초	28초
갱외	공차 갱외 이동	55초	59초	45초

표 4. 카리프트 속도 8m/min일 때

장소	작업 내용	평균 소요시간	최대 소요시간	최소 소요시간
카리프트	카리프트 하강	5분 54초	6분	5분 47초
카리프트	카리프트 상승	5분 55초	6분 3초	5분 48초

표 4의 데이터는 현장에서 측정된 13m/min일 때의 최

대, 최소값을 8m/min 일 때의 값으로 바꾼 뒤 이 값에 난수를 발생시켜 이에 대한 평균값으로 결정하였다.

덤프와 페이로더의 성능은 변함이 없으므로 이에 대한 현장 데이터는 그대로 유지하였다.

### 3.4 시뮬레이션 결과 및 분석

결정된 데이터와 구축된 CYCLONE 모델로 생산성 분석을 수행한 결과는 표 5와 같다. 표 5에서 사이클 숫자는 반복적인 횟수를 통한 안정된 결과 값을 제공하기 위하여 시뮬레이션 사용자에게 의해 결정된다. 본 연구에서는 사이클 숫자를 100으로 결정하였다.

표 5. 시뮬레이션의 생산성 결과

카리프트 속도	8m/min	13m/min
결과값		
시뮬레이션 시간(min)	1509.3	1243.1
사이클 숫자	100	100
생산성(cycle/min)	0.066256	0.080442
생산성(m <sup>3</sup> /hr)	35.778	43.439

표 5의 결과에서 보면 생산성은 카리프트의 평균 속도가 8m/min에서 13m/min로 향상됨에 따라 시간당 생산성이 약 8m<sup>3</sup>의 차이를 보였다. 이는 15ton 덤프트럭의 한 대 분량에 해당하는 양으로서 1일 2회씩 반복적으로 수행되는 버력처리 공정으로 볼 때 카리프트의 장비 성능 향상은 전체 공기 단축에 큰 효과가 있을 것임을 예상할 수 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 도심지 지하철 터널공사 공정 중 버력처리 공정의 CYCLE TIME 데이터를 측정하여 카리프트 성능 변화에 따른 생산성 향상의 정도를 시뮬레이션 적용을 통하여 분석하였다. 과거에 사용하던 카리프트에 비하여 평균 속도가 향상된 카리프트를 사용함에 따라서

생산성의 증가가 확연하게 드러남을 시뮬레이션 분석 결과로서 확인할 수 있었다. 본 연구에 사용된 모델링은 카리프트 장비가 고가임과 카리프트를 위하여 수직갱을 반드시 뚫어야만 한다는 점을 고려하여 한 현장에 카리프트가 2대일 수 없음을 제한 조건으로 하였으며, 과거에 사용하던 카리프트에 대한 사이클 타임을 실측 데이터로 활용하지 못한 제한 사항이 있었다.

건설 산업은 다양한 건설기계장비를 운영하게 되며 이 장비들의 성능은 공사 전반에 걸쳐 영향을 미칠 수 있다. 시간 당 생산성 증가는 전체 공정의 생산성 증가를 가져오며, 이는 공기의 단축으로 이어진다. 지금까지는 장비 향상의 따른 생산성 향상에 대해 객관적이고 정확한 예측이 어려웠지만, 본 연구에서 구현한 시뮬레이션 모델링을 통하여 유사한 공정에 대하여 장비의 성능, 현장 조건의 변화에 따른 새로운 시뮬레이션을 모델링 하는데 사용될 수 있을 것이다. 향후 후속 연구에서는 생산성 향상에 대한 비교와 함께 비용적인 측면에 대한 민감도 분석을 적용함으로써 좀 더 객관적이고 신뢰성 있는 분석이 가능할 것으로 예상된다.

## 참고문헌

1. 김경주, "건설 공정 시뮬레이션을 위한 독립 자원모델 구축방안 연구", 대한토목학회논문집, 제20권 제4D호, 2000, pp. 389-401
2. 배연진, 박상혁, 한승헌, 백준홍 "시뮬레이션을 활용한 지하가설물 설치작업의 생산성 측정 및 검증에 관한 연구", 한국건설관리학회 학술발표대회논문집, 제5회, 2004, pp.427-432
3. 천진용, 우성권 "시뮬레이션 모델링을 통한 NATM 터널공사 생산성 향상 분석", 대한토목학회논문집, 제25권 제3D호, 2005, pp. 457-462
4. Halpin, D.W. and Riggs, L.S., "Planning and Analysis of Construction Operation", John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1992

## Abstract

Productivity is the most important factor directly link to success and failure of a work in construction industry. To evaluate this productivity, simulation technique is verified as a fine inspection tool through various experiment reports. On this project, we have proved the part of improvement on productivity using this simulation technique, applied to this field sites. We have used CYCLONE, which is the most appropriate simulation technique on this project. As a result of Simulation analysis, it has been confirmed that the productivity was enhanced due to the advancement of equipment, hence the reduction of air is being effected.

keyword : productivity, simulation, cyclone, cycle time