

공동주택 거푸집 공사의 생산성 분석을 위한 시뮬레이션 모델 개발

Development of a Simulation Model for the Productivity Analysis of Form Work in Multi-Family Housing Construction projects

강 동 완*

문 현 석**

현 창 택***

Kang, Dong-Wan

Moon, Hyun-Seok

Hyun, Chang-Taek

Abstract

It is an important issue in cost management to contract with the standard of cost estimate by the reasonable way in public construction projects. For the standard of cost estimate based on the Standard Estimating System, there is a difference of labor inputs between Standard Estimating System and actual quantities in construction projects. The duration of form work in multi-family housing depends on the manpower compared with other work, which is the critical path on the schedule management to be decided quality, and is the important to the cost management of construction projects. This study presented a simulation model of the productivity analysis for selecting the standard work type of form work in Multi-family housing construction projects.

키 워 드 : 공동주택, 거푸집 공사, 건설 시뮬레이션, 생산성

Keywords : Multi-Family Housing, Form work, Construction Simulation, Productivity

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

공공 발주기관에 의해 시행되는 공공 건설공사에서 합리적인 방법에 의해 결정된 예정가격을 기준으로 계약을 체결하는 것은 사업비 관리에 있어 매우 중요하다. 예정가격의 산정을 위한 기준은 표준품셈에 의해 산정되고 있다. 그러나 원가계산의 기준이 되는 표준품셈은 재료수량이나 기계수량에 대해서는 비교적 정확한 값을 제시하지만, 노무량에 있어 건설공사 현장에서 투입되는 실제 값과 표준품셈에서 제시하는 값의 차이가 존재하고 있다(전재열 2002).

공동주택 건축공사에 있어 골조공사는 전체 공사기간의 50%를 차지하고 있으며, 골조공사를 이루는 공종들 중에서 거푸집 공사의 기간은 전체 골조공사의 기간의 약 66% 정도를 차지하고 있다(우기범 외 2008). 즉, 골조공사는 공정관리에 미치는 영향이 크며, 공정관리의 양부를 결정하는 주공정(critical path)에 해당된다. 한편, 거푸집 공사는 타 공종에 비하여 대부분이 인력작업에 의존

하고 있어, 건설 프로젝트의 원가관리 측면에서도 중요한 위치에 있다.

따라서 본 연구에서는 지금까지 수행된 공동주택의 현상사례를 바탕으로 유형 및 규모를 조사·분석하여, 공동주택 거푸집 공사의 표준작업유형 선정을 위한 생산성 분석 시뮬레이션 모델을 개발하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 공동주택의 골조공사 중 거푸집 공사를 대상으로 하며, 노무의 사용빈도가 가장 높은 내부 거푸집을 대상으로 하였다. 이를 위하여, 공동주택의 벽체 거푸집 해체공사에서부터 슬래브 거푸집 설치공사에 이르는 1개 층에 대한 생산성 분석을 수행하였다. 연구의 진행방법은 다음과 같다.

- 1) 거푸집 공사의 프로세스와 생산성 분석에 관한 기존의 연구 문헌을 조사한다.
- 2) 연구문헌의 고찰과 공동주택 건설공사 현장의 답사를 통하여, 거푸집 공사의 작업 프로세스를 고찰한다.
- 3) 시뮬레이션 구축을 위해 필요한 각각의 작업에 필요한 자원, 노무, 장비를 파악하기 위해 전문가의 면담 및 현장 방문 및 실적데이터를 수집한다.
- 4) 거푸집 공사의 작업 프로세스에 대한 시뮬레이션 작업을 위하여, Web-CYCLONE 모델을 구축한다.

* 서울시립대학교 건축공학과 석사과정

** 서울시립대학교 건축공학과 박사과정

*** 서울시립대학교 건축학부 교수, 공학박사, 교신저자,
(cthyun@uos.ac.kr)

본 연구는 국토해양부 건설교통R&D정책인프라 사업의 연구비 지원에 의한 연구의 일부임. 과제번호 06기반건축A03

2. 예비적 고찰

2.1 건설 생산성

1) 생산성의 개요

일반적으로 경제행위를 통하여 특정 재화를 생산할 때에는 노동, 자본, 원자재 등 많은 생산요소들의 투입에 의하여 이루어지기 때문에, 생산성이란 생산물인 재화, 서비스 등과 같은 산출물과 생산요소들의 투입비율로 정의되는 기술적·동태적인 개념이라고 할 수 있다. 따라서 생산성이란 생산요소의 투입물과 이로 인한 산출물과의 관계를 표시하는 것으로 투입물에 대한 산출물의 비율로 정의할 수 있다(김원규 2000).

2) 생산성 분석

박동규(2000)의 연구에서 생산성 분석 기법을 크게 (1) 지표접근법, (2) 생산함수 접근법, (3) 투입-산출 접근법, (4) 효용 접근법, (5) 자동제어시스템 접근법, (6) 배열 접근법, (7) 재무비율 접근법, (8) 자본예산편성 접근법, (9) 단위비용 접근법 등으로 나눌 수 있다. 그 중 가장 많이 사용되고 있는 생산성 분석 방법론으로서는 지표 접근법과 생산함수 접근법이 가장 많이 사용되고 있으며, 표준 방법론을 꼽는다면 지표 접근법 중 고전적 기법인 Kendrick-Creamer모형을 들 수 있다. Kendrick-Creamer모형에 의하면 기업에 있어서의 생산성 지표는 다음 세 가지 유형으로 구분된다.

① 종합 생산성(total productivity index)

모든 투입요소의 합계에 대한 총 산출량의 비율이며, 총 생산성 측정은 산출물의 생산에 투입된 모든 생산 요소의 결합효과를 반영하는 것이다.

$$\text{종합 생산성} = \frac{\text{기준 시가로 환산한 측정시 산출물}}{\text{기준 시가로 환산한 측정시 투입물}} \quad (\text{식 1})$$

② 종합 요소 생산성(total factor productivity index)

투입 노동과 투입자본의 한계에 대한 순 산출량의 비율이며, 여기서 순산출(net-output)은 총 산출량에서 구입한 중간재화 및 서비스를 뺀 것이다.

$$\text{종합요소 생산성} = \frac{\text{순 산출물}}{\text{전체 요소 투입물}} \quad (\text{식 2})$$

③ 부분 생산성(partial productivity index)

여러 투입 요소 중 하나의 투입요소의 유형에 따라 변하는 산출량의 비율로 나타낼 수 있다.

$$\text{부분 생산성} = \frac{\text{기준 시가에 의한 산출물(전부 또는 순수)}}{\text{기준 시가에 의한 부분 투입물}} \quad (\text{식 3})$$

2.2 생산성에 관한 연구문헌 고찰

본 논문은 공동주택 거푸집 공사에 투입되는 노동, 장비에 의한 생산성 분석에 관한 것으로서, 생산성 분석을 위해 과거의 연구문헌을 바탕으로 사용되었던 방법론들에 대하여 고찰하였다. 연구문헌들을 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 생산성 분석을 위한 방법론






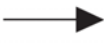
연구자	분석방법	연구 내용
장완복과 김한수(2003)	작업 사이클	오피스빌딩 현장을 대상으로 적용 공법과 이에 따른 작업사이클, 작업 조건 등을 통한 생산성 분석 방법론을 제시하였다.
신윤석 외 4인(2006)	초고층 건축공사의 바닥판 거푸집시스템 선정에 관한 연구	초고층 건축물에 사용되는 바닥판 거푸집 시스템의 선정 및 평가에 있어 AHP기법을 활용하여 편익/비용을 분석
이학주 외 3인(2008)	대기행렬 이론	대기행렬이론 기반의 시뮬레이션을 통해 자재, 인력의 대기시간과 확률을 고려한 실제 현장과 유사한 계획모델을 구축하였다.
전상훈과 구교진(2008)	다중회귀 분석	43개 프로젝트의 철근콘크리트 공사에 참여하는 거푸집 형틀목공, 철근조립공, 콘크리트공의 실투입 노동량과 표준품셈의 산정기준을 비교하였다.
Rifat Sonmez et al(1998)	신경망, 회귀분석	회귀식과 인공신경망 기반의 방법론으로 생산성에 대한 다수 영향요인의 영향력으로부터 정량적인 평가를 제시하였다.
Seungwoo Han and Daniel W. Halpin(2005)	Web-CYCLONE, 다중회귀 분석	토공사(Earthmoving)를 대상으로 실제 현장조건을 시뮬레이션에 반영한 결과 값과 회귀모델의 결과값 비교·분석하였다.
UngKyun Lee et al(2006)	유전자 알고리즘	프로젝트에서 굴착장비의 건적은 중요한 요소로써, 이들의 건적을 위해 유전자 알고리즘(GA)과 시행착오(trial & error)방법을 이용하여 결과값을 비교하였다.

과거 생산성 분석을 위해 사용되었던 방법론을 살펴보면, 계층 분석적 의사결정(AHP), 다중회귀분석, 대기행렬이론, 유전자알고리즘에 이르기까지 다양한 방법론들이 사용되고 있으며, 적용 대상에 있어서도 다양하게 나타났다.

2.3 CYCLONE의 개요

CYCLONE(CYCLic Operatioin NETwor)은 1970년대 초 Halpin에 의해 만들어진 건설 시뮬레이션 프로그램이다. 이 건설 시뮬레이션 프로그램은 반복적인 건설 프로세스의 시뮬레이션과 모델링을 위하여 시험되었다. 이 후, Lluch와 Halpin에 의해 Micro-CYCLONE이 개발되었다(Han et al 20005). CYCLONE 시뮬레이션의 모델링을 구성하는 기본요소는 표 2와 같다.

표 2. CYCLONE 모델링 구성요소(Halpin and Riggs, 1992)

기호	이름	설명
	NORMAL	작업의 시작을 위해 논리적인 제약이 없으며, Q-node가 없으므로 자원이 공급되면 지체 없이 작업을 개시한다.
	COMBI	Normal과 유사한 반면에, 작업을 위하여 선행 작업인 Q-node를 반드시 필요하다.
	QUEUE	모든 작업 활동에 대하여 선행하여 작업에 대해 자원을 공급하며, 이 요소에 대하여 통계치가 측정된다.
	CONSOLIDATE	시스템 내 특정한 지점에서 흐름 유닛을 통합한다.
	COUNTER	네트워크 모델 내 주요 유닛 흐름에 대한 시간을 계산함으로써 생산량을 파악할 수 있다.
	ARROW	노드(node) 사이에서 자원 흐름의 방향을 나타낸다.

3. 거푸집 공사의 생산성 분석을 위한 연구고찰

3.1 거푸집 공사의 개요

거푸집이란 콘크리트 타설시 유출 방지 및 타설 후 경화하기까지 작용하는 내·외 환경으로부터 콘크리트를 보호하여 구조체의 형상과 치수를 확보하는 가설자재이다. 또한, 거푸집은 콘크리트 면에 직접 접하는 판재와 판재의 변형을 방지하기 위한 버팀대 역할을 하는 장선, 멩에, 동바리 등의 구성재와 이들을 상호 연결·구속하는 철물을 통칭한다(대한주택공사 2008).

3.2 거푸집의 종류

1) 목재 거푸집

일반적으로 목재는 가공이 쉽고 콘크리트에 대하여 적당한 보온성을 지니고 있어 거푸집 재료로 가장 널리 사용된다.

2) 강재 거푸집

강재 거푸집은 전용성이 우수하고 사용 후 관리를 잘하면, 50회 이상의 전용이 가능하다. 또한, 콘크리트의 노출부분이 매끄럽고 마무리가 양호하여 대체적으로 토목공사에서 널리 사용되고 있으며, 건축공사에 사용되는 경우는 적다.

3) 알루미늄 거푸집

특수 알루미늄을 사용하여 제작한 거푸집으로 내식성 알루미늄 합금재로서 콘크리트의 알칼리 성분이 침투되지 않고 강도가 균일하며, 파손이 적고 내구성이 높아 반복사용이 가능하다. 경량재이므로 작업이 용이하고 박리성이 좋아 깨끗한 콘크리트 표면을 얻을 수 있다(김두석, 김용수 2000).

4) 플라스틱재 거푸집(FRP FORM)

패널 형태가 정형화된 플라스틱재의 거푸집으로 강철재 거푸집의 경량화를 꾀한 것이다. 합판 거푸집의 대체 거푸집으로 사용할 수 있도록 패널 사이즈의 다양화, 강도·강성의 향상, 가공성이나 간편한 조립 향상, 전용

횡수의 향상 등 작업성과 경제성의 향상을 꾀한 제품이다(김중년 2006).

5) 라스 거푸집

합판 대신 특수한 리브 라스를 밀착 거푸집으로써 거푸집널을 사용한 것이다. 폼타이 설치용의 강철재 프레임과 삼목 등을 내각재로 하고, 그 외에는 통상의 외가재 재료와 조임철물을 사용한다. 거푸집널의 탈형 작업이 없으므로 노무 절감과 공기단축이 가능하다(김중년 2006).

3.3 거푸집 공사의 생산성 분석 현황

거푸집 공사의 생산성 분석에 관한 기존의 연구문헌은 표 3과 같으며, 생산성의 분석대상은 공동주택의 내측벽 거푸집, 지하옹벽 거푸집, 시스템 거푸집, AFB(Aluminum panel Form with dropping Beam) 거푸집에 이르기까지 다양하게 이루어지고 있다.

표 4. 거푸집 공사의 생산성 분석현황

연구자	연구 내용
김두석과 김용수 (2001)	아파트 현장에서 수집된 자료를 바탕으로 거푸집 공사의 소요자재, 공사기간, 투입인원 등에 대한 각각의 공법별로 비교분석
김도형과 김경래 (2001)	시스템 거푸집의 공사과정 중 현장 반입, 조립, 양중, 세팅, 부대작업에 대해 투입된 작업인력의 생산성을 분석
정희경 외 2인 (2005)	철근 콘크리트 공사의 거푸집에 대하여 생산성 측정
김태훈 외 3인(2007)	국내 30층 이상의 초고층 건축물을 대상으로 바닥 거푸집별 생산성을 비교·분석
김재엽 외 3인(2008)	지하 2층 이상의 지하공사를 대상으로 지하 거푸집 유형 및 특성 분석을 분석하고 유형에 따른 편익적인 가치와 비용적인 가치를 고려하여 특성분석
김태호 외 3인(2008)	최근 알루미늄 폼의 문제점을 개선하고 현장에 적용되고 있는 AFB 시스템에 대한 공기단축의 가능성 및 생산성 분석

각각의 거푸집에 대한 생산성 분석을 위해 활용된 방법들을 살펴보면, 김두석과 김용수(2001), 김도형과 김경래(2001), 정희경 외 2인(2005), 김태훈 외 3인(2007), 김태호 외 3인(2008)에서는 실제 공사현장의 실적 자료를 바탕으로 거푸집 공사의 작업량, 투입된 노무인력의 양, 작업시간을 활용하여 거푸집 공사의 작업 생산성을 분석하였다.

하지만 이는 각 작업현장의 조건에 맞는 작업 생산성을 구하는 것으로서 거푸집 공사의 생산성에 대한 일반화를 도출할 수 없는 단점을 갖고 있다. 이에 결정론적 분석 방법론이 갖고 있는 단점을 보완하고 현실 조건을 반영하여 생산성을 분석할 수 있는 시뮬레이션 기법을 활용하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 공동주택 거푸집 공사를 대상으로 건설 시뮬레이션 프로그램인 Web-CYCLONE을 이용하여 거푸집 공사의 생산성 분석을 실시하고자 한다.

4. 공동주택 거푸집 공사의 시물레이션 모델

4.1 생산성 분석을 위한 대상선정

1) 분석대상 선정 시 고려사항

거푸집 공사의 생산성 분석에 앞서 공동주택의 대상선정을 위해 고려해야 할 사항들을 정리하였다. 대상선정에 따른 고려항목을 살펴보면, 지역, 주동 형태, 진입방식, 구조형식, 거푸집의 종류 등이 있으며, 표 4와 같다.

표 4. 분석대상 선정시 고려사항

항 목	내 용
지역	서울 강남, 서울 강남, 수도권, 비수도권
주동의 형태	판상형, 탑상형, 판상+탑상형
진입방식	홀형, 복도형, 집중형
층수	하부층, 기준층, 상부층
층별구분	저층, 중층, 고층, 초고층
구조형식	라멘, 벽체식, 플랫슬래브, 철골조
철근가공장소	현장가공, 공장가공
작업시간대	주간작업, 야간작업
거푸집	강폼, 유로폼, 알루미늄(AL) 폼

2) 영향요인 분석

현재 공공기관에 의해 발주되어 시행되고 있는 공동주택의 공사현장에 대한 실적 자료를 바탕으로 조사·분석을 하였다. 여러 가지의 영향요인들 중에서 주동의 형태와 진입방식, 층수를 대상으로 조사를 하였으며, 지난 2년 동안 시공되고 있는 현장을 대상으로 하였다. 분석결과에 따르면, 주동 형태에 있어 51개 단지 중 판상+탑상형의 복합형태가 전체의 63%를 이루고 있으며, 진입방식은 계단형식이 전체의 73%를 이루고 있다. 또한, 공동주택의 주동에 대한 층수는 15~17층이 대다수를 이루고 있었다.

이와 같은 현재 공동주택의 유형을 반영하여, 공동주택의 단지 중 복합형(판상+탑상형)의 단지를 구성하고 계단형의 진입방식을 갖는 아파트 주동을 대상으로 생산성 분석을 실시하고자 한다.

3) 사례현장 개요

본 연구에서는 앞서 언급한 대상선정 시 고려사항에 대한 분석 결과처럼 공동주택의 주동에 대한 형태와 진입방식, 층수가 적용되고 있는 현장을 대상으로 내부 거푸집 공사의 생산성을 분석하였다. 조사대상의 현장 개요는 표 5와 같다.

표 5. 조사현장 공사개요

항목	상 세 내 용
공 사 명	서울시 송파구 OO지구 공동주택 신축현장
공 사 기 간	2008.07.08 ~ 2010.11.01
공 사 규 모	지하 1층, 지상 17층
대 지 면 적	12,162.00 m ²
건 축 면 적	2,509.85 m ²
연 면 적	30,646.47 m ²
구 조	RC조

4.2 거푸집 공사의 프로세스

본 연구의 건축 시물레이션 모델링을 작성하기 위하여, 거푸집 공사에 대한 연구문헌 고찰 및 공동주택 공사가 진행 중인 공사현장을 방문하였다. 그리고 실무 담당자와의 면담 및 조사를 실시하여 거푸집 공사의 작업 프로세스를 확인하였다. 거푸집 공사의 작업 프로세스는 1개 층에 대하여 콘크리트 타설 후 벽체 거푸집을 설치하는 과정에서부터 슬래브거푸집 설치 후 해체에 이르는 공정을 1개 층의 작업 사이클로 보고 있다. 그림 1은 거푸집 공사의 작업 프로세스 순서를 나타내고 있다.



그림 1. 거푸집 작업 프로세스

4.3 CYCLONE 모델 개발

앞서 확인된 거푸집 공사의 프로세스를 바탕으로 CYCLONE 모델을 구축하였다. 공동주택의 1개 층에 대한 거푸집 공사에 대한 프로세스를 정리하면 8개의 작업으로 구분할 수 있다. 그림 2는 CYCLONE 모델링을 나타내고 있다.

1) 벽체 거푸집 해체(그림 2의 노드 1~5)

상부 층에 대한 콘크리트 타설과 36시간의 양생작업이 완료되면, 하부 층의 벽체 거푸집을 해체할 수 있다. 해체작업이 완료되면, 상부 층으로의 인양작업을 준비할 수 있도록 벽체 거푸집에 대하여 인양작업을 준비한다.

2) 벽체 거푸집 인양(그림 2의 노드 6~9)

하부 층의 벽체 거푸집이 해체가 완료되면, 2인 1개조로 구성된 형틀목공이 하부 층의 벽체 거푸집을 상부 층으로 인양한다.

3) 벽체 거푸집 설치(그림 2의 노드 10~16)

인양된 벽체 거푸집은 거푸집 설치에 앞서 콘크리트 타설 후 거푸집의 탈형을 쉽게 진행할 수 있도록 미리 박리제를 도포하고 벽체 거푸집을 설치한다.

4) 슬래브 거푸집 해체(그림 2의 노드 17~21)

상부 층에서 벽체 거푸집의 설치가 진행됨과 동시에 하부 층에서는 슬래브 거푸집 해체작업을 실시한다. 해체 작업과 함께 추후 인양작업의 원활할 수 있도록 슬래브 거푸집을 정리한다.

5) 슬래브 거푸집 인양(그림 2의 노드 23~25)

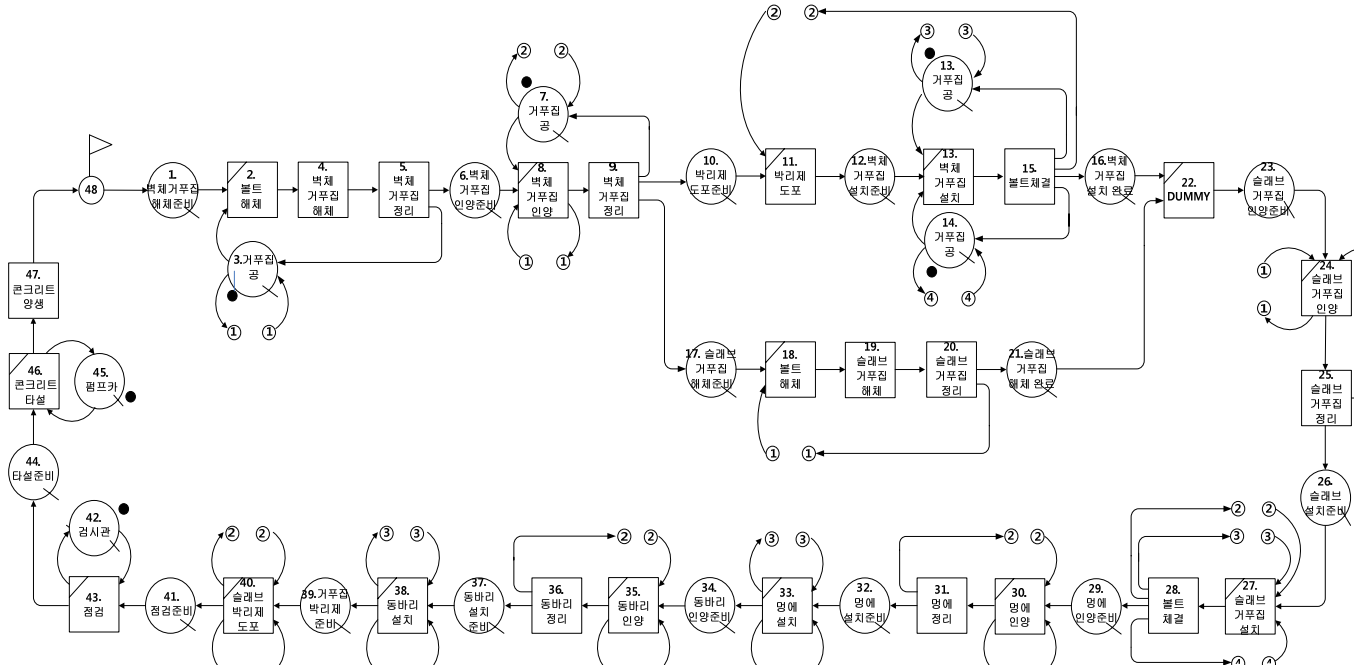


그림 2. 거푸집 공사의 CYCLONE 모델

상부 층의 벽체 거푸집 설치가 완료되면, 하부 층에서 해체작업이 완료된 슬래브 거푸집을 2인 1개조로 하여 거푸집 인양작업을 실시한다.

6) 슬래브 거푸집 설치(그림 2의 노드 26~28)

7) 명에 및 동바리(support) 설치(그림 2의 노드 29~38)

슬래브 거푸집 설치가 완료되면, 콘크리트 타설에 따른 벽체 및 슬래브 거푸집의 붕괴를 방지하기 위하여 명에와 동바리(support)를 설치한다.

8) 슬래브 거푸집 박리제 도포(그림 2의 노드 39~40)

슬래브 거푸집 설치와 장선, 동바리(support) 설치가 완료되면, 슬래브 철근 조립작업을 진행하기 전에, 박리제를 도포한다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 공동주택 거푸집 공사의 생산성 분석을 실시하고자 하였다. 우선 기존의 연구문헌을 통하여 생산성 분석을 위해 사용되었던 방법론과 생산성에 대하여 고찰을 실시하였다. 또한, 기존 거푸집 공사의 생산성 분석에 관한 연구문헌 고찰을 통하여 기존 연구문헌의 현황을 파악하였다.

기존 거푸집 공사의 생산성 분석을 위해 사용된 방법은 현장으로부터 수집된 자료를 바탕으로 생산성을 분석하는 결정론적 방법론을 사용하고 있으며, 이는 현실 조건을 반영하지 못하는 단점을 갖고 있었다. 따라서 본 연구에서는 현실조건을 반영하여 생산성을 분석할 수 있는 시뮬레이션 기법을 적용하여 거푸집 공사의 생산성 분석을 실시하고자 하였다. 이를 위해, 연구문헌 및 공동주택 건설현장을 방문하여 거푸집 공사의 작업 프로세스를 확인하고 실무 담당자와의 인터뷰를 바탕으로 작업 프로세스를 도출하였다. 도출된 프로세스를 기반으로 하여, 건설 시뮬레이션 Web-CYCLON E 모델을 구축하였다.

후속 연구는 본 연구결과를 바탕으로 CYCLONE 모델링을 구성하는

각각의 작업(work task)들에 대한 작업시간(work task duration)을 측정하여 거푸집 공사의 생산성을 분석하고 자원(resource)인 형틀공에 대하여 민감도 분석을 실시하고자 한다.

참고 문헌

1. 김도형, 김경래, 공동주택 SYSTEM FORM 공사의 생산성 분석 및 상방안 제안, 한국건설관리학회 논문집, 제2권 제3호, pp.101~109, 2001
2. 김두석, 김용수, 벽식 철근 콘크리트 거푸집 신 공법의 생산성 분석 및 적용활성화 방안 연구, 건설환경논문집, 제12권 제1호, pp.120~121, 2000
3. 김두석, 김용수, RC아파트 내벽벽 거푸집 공사에 있어서 거푸집 공법별 생산성 비교에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제21권 제1호, pp.525~528, 2001
4. 김원규, 한국산업의 생산성 분석, 산업연구원, pp.141~143, 2000
5. 김재엽, 안성훈, 손영진, 지하층 합벽 무지주 시스템 거푸집의 적용성에 관한 연구, 한국생태환경건축학회논문집, 제8권 제2호, pp.87~92, 2008
6. 김종년, 거푸집공사, 건축시대, 2006
7. 김태호, 김옥중, 김귀환, 이도범, Drop형 Beam을 가진 Aluminum Panel Form을 이용한 거푸집공법의 공기단축 및 생산성 분석, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제28권 제1호, pp.523~526, 2008
8. 김태훈, 신윤석, 조성수, 강경인, 초고층 골조공사의 바닥 거푸집법 생산성 분석, 한국건축시공학회 학술논문발표대회논문집, 제7권 제2호, pp.115~118, 2007
9. 대한주택공사, 거푸집공사 길라잡이, 건설도서, 2008

10. 박동규, 은행산업에의 적용을 위한 서비스 생산성 분석 및 측정 방법론의 고찰, 한국생산성학회논문집, 제6권 제1호, pp.37~58, 1992
11. 신윤석, 최희복, 이웅균, 안성훈, 강경인, 초고층 건축공사의 바닥판 거푸집시스템 선정에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제22권 제2호, pp.147~154, 2006
12. 이학주, 김대원, 조훈희, 강경인, 큐잉이론을 이용한 고층건물 가설 리프트 계획모델 구축에 관한 연구, 한국건설관리학회 학술발표대회, pp.635~640, 2008
13. 장완복, 김한수, 작업 사이클 분석을 통한 오피스 건축공사 생산성 분석 방법론에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제23권 제2호, pp.619~622, 2003
14. 전상훈, 구교진, 공동주택 골조공사의 표준품셈 노무량과 실투입 노무량 비교, 한국건설관리학회논문집, 제9권 제2호, pp.182~189, 2008
15. 정희경, 윤여완, 양극영, 거푸집 공사의 생산성 측정에 관한 연구, 한국건축시공학회 학술기술논문발표대회논문집, 제5권 제2호, pp.149~155, 2005
16. Halpin, Daniel W. and Riggs, Leland S., Planning and Analysis of Construction Operations, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1992
17. Han, Seungwoo, Halpin, Daniel W., The Use of Simulation for Productivity based on Multiple Regression Analysis, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, pp.1492~1499, 2005
18. Sonmez, R., and Rowings, J. E., Construction Labor Productivity Modeling with neural Network, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 124(6), pp.498~504, 1998