

거푸집 공사의 생산성 분석을 통한 작업조 기반의 Cost Data Prototype 개발에 관한 연구

Development of Cost Data Prototype based on
Production Crew by Productivity Analysis of Form Work

강 동 완* 지 성 민** 현 창 택***
Kang, Dong-Wan Ji, Soung-Min Hyun, Chang-Taek

Abstract

In the cost management of public construction projects, it is an important issue to develop an adequate cost data for estimating the predetermined amount by various methods. For a long time, a standard of estimation in Korea is used as a basis for estimating the predetermined amount of public construction. However, they did not have a reasonable cost data based on a labor and equipment productivity analysis. For this reason, it is difficult to make a reasonable and efficient estimation of the costs, and this situation presents an urgent need for more accurate cost data to use in an early phase.

This study analyzed the productivity of form work by the CYCLONE model, and presented the model on the number of optimal labor through sensitivity analysis. This CYCLONE model can be useful in analyzing productivity on the various sizes of form. Also, the regression model to estimate the daily output can be used in predicting the amount of labor. Considering the work duration in the regression model is expected to make the daily output estimation much more accurate.

Keywords : Productivity Analysis, Production Crew, Cost Data Prototype, CYCLONE

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

합리적인 방법에 의해 결정된 건설 공사비를 포함하여 계약을 체결하는 것은 공공 건설공사의 사업비 관리 측면에서 매우 중요하다. 국내에서는 표준품셈이 건설 공사비를 산정하기 위한 기준으로 사용되고 있으며, 재료수량 및 기계수량은 비교적 정확하지만, 표준품셈에서 제시하는 작업인원과 현장에서 투입되

는 작업인원 사이에는 차이가 존재하고 있다.

이처럼, 현행 표준품셈은 범용적으로 활용될 수 있으나, 현장에서 투입된 작업인원을 반영하여 효율적이고 합리적인 건설 공사비를 산정하기에는 어려움이 있다¹⁾.

이에 따라 새로운 Cost Data를 구축할 필요성이 있으며, 합리적인 공사비 산정을 위한 적산기술 및 시공능력의 향상을 도모할 수 있도록, 현장 상황을 고려한 작업조 기반의 비용 산정 모델이 요구된다.

* 일반회원, (주)정림건축종합건축사사무소 dongwan.kang@junglim.com

** 일반회원, 서울시립대학교 대학원 건축공학과 박사과정(교신저자), noelji@hanmail.net

*** 중신회원, 서울시립대학교 대학원 건축공학과 교수, 공학박사 cthyun@uos.ac.kr.

1) 하기주, 최민권, 이동렬, 하민수, 2008, "선진국 사례연구를 통한 국내 실적공사비의 개선방안", 대한건축학회 학술발표대회, pp.541-544

본 연구에서는 건설공사의 적정 예정가격을 산정하기 위하여 합리적이고 현실적인 공사비를 산정할 수 있는 작업조 기반의 Cost Data Prototype을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 연구범위는 공동주택 골조공사 중 투입되는 작업인원이 가장 많은 알루미늄 거푸집(내부 측벽거푸집) 공정으로 한정하였다. 또한, 거푸집 공사의 측정대상 작업은 벽체거푸집의 해체작업부터 슬래브 거푸집의 조립작업까지로 선정하였으며, 본 연구의 진행방법은 다음과 같다.

첫째, 국내·외에서 수행된 연구문헌을 중심으로 생산성 분석 방법론을 고찰하고 표준품셈의 문제점을 파악하여 문제점 개선을 위한 방향을 설정하였다.

둘째, 거푸집 공사의 현장조건을 반영하기 위하여, 현장에서 수행되는 작업 프로세스를 바탕으로 거푸집 공사의 CYCLONE 모델을 구축한다.

셋째, CYCLONE 모델을 통해 도출된 거푸집 공사의 작업인원에 대한 작업량 산정을 위하여, 현장의 자료를 기반으로 회귀 분석을 수행한다.

넷째, 작업인원과 작업량을 바탕으로 알루미늄 거푸집 공사에 대한 Cost Data Prototype을 제시하고 현행 표준품셈과 비교 분석한다.

2. 이론적 고찰

2.1 생산성의 개요

생산성이라는 용어는 1766년 프랑스의 경제학자 케네(F. Quesnary)의 “경제원표(Formula du Tableau Enonmique)”에 처음 발표되었다. 1883년 Littre에 의해 ‘생산할 수 있는 능력 (faculty to produce)’으로 정의되었으며, 이후 생산성 개념의 정의에 관해 여러 가지 논의가 이루어졌다. 20세기 초에 이르러서는 관련 학자들에 의해 산출과 생산수단과의 관계성을 표현하는 개념으로 확장되었다²⁾.

국내에서 연구된 건설공사의 생산성 분석과 관련된 문헌은 표 1과 같이 정리하였다.

2) David J. S, 1984, Productivity Engineering and Management, MacGraw-Hill Book Company, p.18

표 1. 건설공사 생산성 분석 관련 연구문헌

분석방법	저자	연구내용
신경망, 회귀분석	Sonmez, Rowing (1998)	생산성에 대한 다수 영향요인의 영향력에 대한 정량적인 평가
CYCLONE, 다중회귀분석	Han and Halpin (2005)	토공사를 대상으로 실제 현장조건을 시뮬레이션에 반영한 결과값과 회귀식의 결과값을 비교 분석
유전자 알고리즘	Lee, U. K. et al (2006)	굴착장비의 견적을 위해 유전자 알고리즘과 시행착오 방법을 이용하여 결과값을 비교
대기 행렬 이론	이학주 외 3인 (2008)	자재, 인력의 대기시간과 확률을 고려한 실제 현장과 유사한 계획모형을 구축

김원규(2000), 유금록(2005), 이신모(1993)의 연구를 통해 생산성의 개념적 정의 및 현대적 의미의 생산성을 파악할 수 있으며, 생산성은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{생산성} = \frac{\text{산출단위} \times \text{품질수준}}{\text{투입단위}} \dots\dots\dots(1)$$

2.2 건설공사 표준품셈 제도

2.2.1 표준품셈 제도의 개요

표준품셈 제도는 표 2와 같이 원가계산시 공사비 산정의 기초 비용자료로 사용되며, 표준적이고 보편적인 공법 및 공종을 기준으로 단위수량(㎡, ㎡ 당) 시공에 소요되는 재료 및 작업인원의 투입량과 장비의 사용시간 등을 수치로 표시한 적산 기준이다³⁾. 표준품셈은 공사의 예정가격 산정을 위해 활용되고 있으며, 현장여건과 기후의 특성 및 기타 조건에 따라 가중치를 조정하여 적용한다.

표 2. 거푸집 공사의 현행 표준품셈

6-3-5 알루미늄 폼 조립해체('08년 신설) (10 ㎡당)

구분	단위	수량
형틀목공	인	0.72
보통인부	인	0.42

2.2.2 표준품셈 제도의 현황 및 문제점

1968년 대통령 특별지시에 의거 검토, 제정된 후 현재까지 공공 및 민간부문의 건설 공사비 산정을 위한 기준으로 큰 역할을 담당하고 있다. 하지만 예정가격을 산정하는데 있어 공사현장의 여건 및 공법의 차이를 고려하지 않고, 공종별로 동일한 품셈이 적용되는 문제점을 갖고 있다.

3) 안지성, 2008, “표준품셈 재·개정 프로세스 및 손익산정 개선방안에 관한 연구”, 인하대학교 석사학위논문, p.5

표 3. 국내·외 표준품셈의 문제점에 대한 선행연구

논문제목	저자	연구내용
정부표준품셈제도의 현실화 방안에 관한 기초적 연구	이덕찬 외 2인 (1992)	· 현행 정부제정 표준품셈제도의 현실화 방안의 기초적인 자료를 제시
건설공사 원가산정의 표준품셈과 실적공사비 비교연구	강윤식 외 2인 (2006)	· 표준품셈에 의한 원가계산 방식과 실적공사비방식의 문제점을 비교
공동주택 골조공사의 표준품셈 노동량과 실투입 노동량 비교	전상훈, 구교진 (2008)	· 품셈과 현장 실투입 노동량이 상이한 원인을 분석
표준품셈의 기계경비 산정 현실화를 위한 자료 조사·분석	허영기 외 5인 (2008)	· 합리적인 기계경비 산출을 위해 수집된 자료와 표준품셈의 수치를 비교분석

표 3과 같이 기존 연구를 살펴보면, 과거 표준품셈 제도의 문제점 제시, 표준품셈 제도와 실적공사비의 비교 분석을 비롯하여, 표준품셈 제도의 현실화 방안을 위한 기초 연구가 수행되었다. 기존 연구문헌을 바탕으로 현행 표준품셈 제도의 문제점을 정리하면 다음 세 가지로 정리된다.

- (1) 표준품셈에서 제시하는 품의 적정성
- (2) 작업량에 대한 작업소요시간 산정의 어려움
- (3) 작업량에 대한 투입인원 산정의 어려움

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 미국 및 현행 표준품셈의 일부 공정에서 사용되고 있는 작업조 기반 Cost Data Prototype을 도입하고자 한다. 작업조 기반 Cost Data Prototype의 기본 양식은 건축부문에서는 제시되지 않고 있으며, 현행 표준품셈의 토목부문에서는 그림 1과 같이 작업공종에 대해 작업인원 및 1일 작업량을 포함하여 제시하고 있다.

제 12장 도로포장 및 유지, 12-2 기계시공-본선포장(08' 신설) (일당)

배치인원	사용기계(1대)		시공량 ()
	명칭	규격	
보통인부 2	모우터, 그레이더, 타이머, 로울러, 진동로울러, 살수차	3.6 M, 8-15 ton 10 ton, 16,000 ℓ	시공량 600

(건설기술연구원, 2009)

그림 1. 작업조 기반의 표준품셈 형식

3. 거푸집 공사의 프로세스 분석

3.1 생산성 분석을 위한 사례대상 선정

3.1.1 대상선정 요인

거푸집 공사의 생산성을 분석하기 위해서는 생산성의 영향요인을 고려하여, 동일한 유형의 공동주택을 분석대상으로 선정해야 한다. 예를 들면, 거푸집 공사의 생산성은 주동의 평면유형에 따라 차이가 나타날 수 있으며, 주동의 평면유형은 크게 판상형, 탑상형, 혼합형(판상형과 탑상형이 혼합됨)으로 구분된다.

분석대상 선정을 위해서는 설계도서를 바탕으로 표 4와 같은 주동의 평면유형, 진입방식, 층수 등의 영향요인을 조사할 필요가 있다.

3.1.2 요인분석

분석대상을 선정하기 위하여, A공사와 B공사의 공동주택 프로젝트 현장을 대상으로 생산성의 영향요인 중 주동의 평면유형 및 진입방식의 현황을 조사하였다. 조사대상은 2007년 이후 진행 중인 51개의 단지를 조사하였으며, 주동의 형태는 판상과 탑상이 복합되어 있는 혼합형의 주동형태가 전체의 63%를 차지하고 있다. 그러나, 혼합형은 판상형과 탑상형이라는 이질적인 형상이 복합되어 있으므로, 혼합형에 대한 연구 이전에 판상형 및 탑상형에 대한 연구가 수행되어야 한다고 판단하였다. 또한, 자료수집의 어려움으로 인해 본 연구에서는 생산성 자료 획득이 가능했던 판상형을 대상으로 연구를 진행하였다.

표 4. 분석대상 선정을 위한 영향요인

항목	내용
주동의 형태	판상형, 탑상형, 혼합형(판상+탑상)
진입방식	계단형, 복도형, 집중형
층수	하부층, 기준층, 상부층
층별 구분	저층, 중층, 고층, 초고층
구조형식	리멘, 벽체식, 플랫 슬래브, 철골조
거푸집 공법	캠폼, 유로폼, 알루미늄 폼

3.1.3 사례대상 프로젝트의 개요

생산성 분석을 위한 사례 프로젝트는 현장조사가 가능한 A공사의 α지구 공동주택 단지로 선정하였으며, 사례 프로젝트는 표 5와 같이 판상형이며, 지하 1층, 지상 17층 규모의 RC조로 구성되어 있다.

표 5. 사례 프로젝트의 개요

항목	상세내용
공사명	서울 α지구 공동주택 신축현장
공사기간	2008.07 ~ 2010.11
공사규모	지하 1층, 지상 17층
대지면적	12,162.00 m ²
건축면적	2,509.85 m ²
주동의 형태	판상형
구조	RC조

3.2 거푸집 공사의 프로세스

3.2.1 거푸집 공사의 생산성 분석현황

거푸집 공사의 생산성 분석에 관한 기존의 연구문헌을 살펴보면, 표 6과 같다. 생산성의 분석대상은 공동주택의 내부 측벽 거푸집, 지하옹벽 거푸집, 시스템 거푸집에 이르기까지 다양하게 이루어지고 있다. 하지만 기존 연구에서 제시하는 생산성 분석은 특정 작업현장에 대한 분석 자료이며, 도출된 연구결과를 근

거로 하여 일반적인 결과 값을 도출하기에는 어려운 점이 있다.

이 같은 단점을 보완하기 위하여, 거푸집 공사의 작업 프로세스를 일반화하여 생산성을 분석할 수 있는 시뮬레이션 기법을 적용하고자 한다. 특히, 본 연구에서는 반복적으로 발생하는 공종의 생산성 분석에 활용되는 시뮬레이션 기법인 CYCLONE을 활용하여 알루미늄 거푸집 공사의 생산성을 분석한다.

표 6. 거푸집 공사의 생산성 분석현황

연구자	연구 내용
김두석과 김용수 (2001)	거푸집 공사의 소요자재, 공사기간, 투입인원 등에 대한 공법별 비교·분석
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 생산성을 측정
김태훈 외 3인 (2007)	초고층 건축물을 대상으로 바닥 거푸집 생산성을 비교·분석
김재엽 외 3인 (2008)	지하공사를 대상으로 지하 거푸집 유형 및 특성을 분석과 유형에 따른 편익적인 가치와 비용적인 가치를 고려하여 특성을 분석

3.2.2 거푸집 공사의 작업 프로세스

현장조사 및 면담조사 결과, 공동주택의 공사현장에서는 합판 거푸집 또는 유로 거푸집에 의한 작업보다는 알루미늄 거푸집의 사용을 선호하고 있음을 알 수 있었다. 알루미늄 거푸집은 기존 유로 거푸집 또는 합판 거푸집에 비해 전용횟수가 높으며, 운반이 용이한 경량 자재이다. 또한, 콘크리트 표면의 정밀도, 거푸집 해체작업의 안정성 및 작업의 효율성이 높아 알루미늄 거푸집을 사용하는 현장의 수가 증가⁴⁾하고 있는 추세이다.

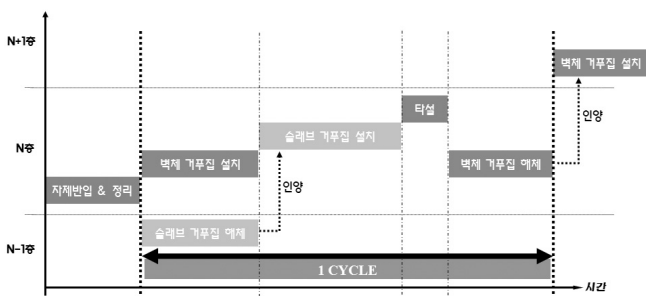


그림 2. 거푸집 공사의 1개층 작업 프로세스

공동주택 공사현장의 실무 담당자와 면담을 실시하고 알루미늄 거푸집의 작업 프로세스를 확인하였으며, 면담 결과와 공사현장에서 관찰된 작업 프로세스를 비교하였다. 현장의 세부작업에 대한 관찰 결과를 반영하여, 공동주택 1개 층에 대한 거푸집 공사의 작업 프로세스를 도식화하면, 그림 2와 같이 표현 할 수 있다.

4) 김태훈(2007)의 연구에서 바닥판 거푸집 공법의 적용현황을 보면, 알루미늄 거푸집의 사용분포(60.7%)가 가장 높은 것으로 나타났다.

4. Cost Data Prototype 개발

4.1 CYCLONE 모델

4.1.1 개요

CYCLONE(CYCLic Operation Network)은 1970년대 초에 개발되었으며, 반복적인 건설 프로세스의 시뮬레이션과 모델링을 위해 시험되었다. CYCLONE은 현실 세계의 프로젝트를 반영하기 위해 개발된 것으로, 표 7과 같은 모델링 요소들⁵⁾로 구성 되어 있다.

표 7. Web CYCLONE 기본 요소

기호	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 필요로 한다.
 Q NODE	모든 작업 활동에 대하여 선행한 작업에 대해 자원을 공급하며, 이 요소에 대하여 통계치가 측정된다.
 ARROW	노드(node) 사이에서 자원 흐름의 방향을 나타낸다.
 COUNTER	네트워크 모델 내 주요 유닛 흐름에 대한 시간을 계산함으로써 생산량을 파악할 수 있다.

주로 사용되는 기호는 NORMAL, COMBI, Q-NODE, ARROW, COUNTER 등이며, 결정론적 또는 확률론적 변수를 기반으로 자원과 작업시간, 작업간의 논리적인 상호관계를 적용시켜 생산성을 측정하는 관리도구이다.

4.1.2 CYCLONE 모델 개발

CYCLONE 모델은 거푸집 공사의 작업 프로세스를 바탕으로 모델을 구축한다. 거푸집 공사에 대한 투입 작업인원과 작업면적을 바탕으로 그림 3과 같이, 알루미늄 거푸집 공사에 대한 CYCLONE 모델을 구축하였다. 구축된 CYCLONE 모델의 순서는 다음과 같다.

- (1) 벽체 거푸집 해체(그림 3의 노드 1~4)
- (2) 벽체 거푸집 인양(그림 3의 노드 6~8)

5) Halpin, D. W., and Riggs, L. S., 1992, Planning and Analysis of Construction Operation, John Wiley & Son, Inc., p.100

- (3) 벽체 거푸집 조립(그림 3의 노드 14~16)
- (4) 슬래브 거푸집 해체(그림 3의 노드 19~22)
- (5) 슬래브 거푸집 인양(그림 3의 노드 26~28)
- (6) 슬래브 거푸집 조립(그림 3의 노드 29~31)
- (7) 멩에 및 동바리 설치(그림 3의 노드 33~42)
- (8) 슬래브 거푸집의 박리제 도포(그림 3의 노드 43~44)

4.1.3 CYCLONE 모델의 입력요소

공동주택 거푸집 공사의 CYCLONE 모델을 구축하기 위해서는 모델을 구성하는 입력요소가 필요하다. A공사의 α 지구 공사현장을 방문하여 확인한 결과, 표 8과 같이 각 세대별로 형틀목공 4인(해체 1인, 조립 3인)이 투입되어 작업을 진행하고 있었다.

표 8. CYCLONE 모델의 입력요소(판상형)

자원유형		장비 및 인력 수
작업인원	9	형틀목공(해체) 1인
(노무량)	13	형틀목공(조립) 3인
작업면적	벽체 거푸집 12.96 m ² (9 EA)	
(자원)	슬래브 거푸집 10.08 m ² (14 EA)	

CYCLONE 모델의 시뮬레이션을 실행하기 위해 모델 내 세부 작업에 대한 작업시간을 설정해야한다. 본 연구에서는 불확실성을 고려하여, 모델링요소의 작업시간 입력을 위해서 확률론적인 방법을 사용되었다.

표 9. CYCLONE 모델의 작업시간

(단위 : 초)

노드	자원유형	작업시간		
		최소	평균	최대
2	벽체 거푸집 핀 해체	45	49	54
3	벽체 거푸집 해체	14	15	17
4	벽체 거푸집 정리		10	
7	벽체 거푸집 인양		10	
8	벽체 거푸집 정리	19	22	25
12	벽체 거푸집 박리제 도포	13	16	20
15	벽체 거푸집 설치	122	127	135
16	핀 체결	37	40	45
20	슬래브 거푸집 핀 해체	13	15	17
22	슬래브 거푸집 해체	7	9	12
23	슬래브 거푸집 정리		5	
28	슬래브 거푸집 인양		10	
29	슬래브 거푸집 정리	15	17	20
31	슬래브 거푸집 설치	65	70	73
32	슬래브 거푸집 핀 체결	12	14	17
35	멍에 인양		240	
37	멍에 정리		30	
39	멍에 설치	350	400	470
41	동바리 인양		300	
42	동바리 정리		500	
44	동바리 설치	490	540	570
45	슬래브 거푸집 박리제 도포	700	740	790
50	점검		1H *	

* 실무담당자와의 면담을 통한 결정론적 작업시간

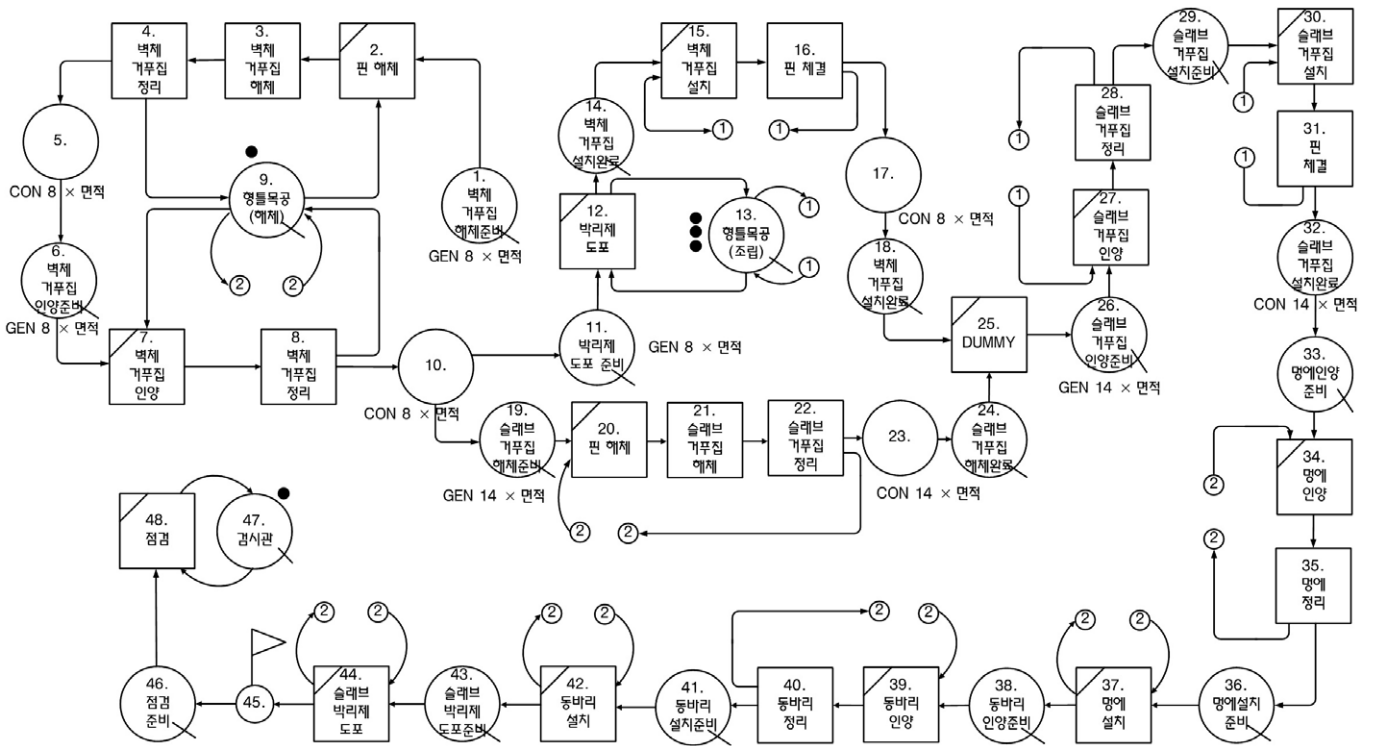


그림 3. 거푸집 공사의 CYCLONE 모델

확률론적 관점의 작업시간 산정을 위해, 데이터의 표본 수에 영향을 받지 않고, 산정 방법이 간단한 삼각분포(triangle distribution)⁶⁾를 사용하였으며, 세부작업의 시간을 살펴보면 표 9와 같다.

4.2 CYCLONE 모델 분석

4.2.1 시뮬레이션 결과

모델에 투입되는 자원과 각각의 세부 작업에 대한 작업시간을 기반으로 하여, 알루미늄 거푸집 공사 모델의 시뮬레이션을 실시하였다. 슬래브 거푸집 면적 685.44 m² 와 벽체 거푸집 면적 640.8 m² 을 대상으로, CYCLONE 모델의 시뮬레이션 수행을 통해 얻은 생산성 정보는 “1회 시공시 758.51 분”이 소요되는 것으로 표 10과 같이 나타났다.

표 10. CYCLONE 모델의 생산성 정보

생산성 정보		
시뮬레이션 시간 (사이클 시간)	사이클 횟수	단위유닛 시간당 생산성
45,510.5 (초) = 758.51 (분)	1	0.000022 (cycle/sec)

CYCLONE 모델의 시뮬레이션을 수행하면, 노드별 시뮬레이션 시간과 작업소요시간을 도출할 수 있다. 이를 활용하여, 거푸집 공사의 세부작업에 대한 작업순서와 작업소요시간을 추정할 수 있으며, 이를 정리하면 표 11과 같다.

표 11. 거푸집 공사의 세부작업시간

작업	노드	시뮬레이션 시간	작업소요시간
(1) 벽체 거푸집 해체작업	2-4	0 ~ 11,101.1	185.02 (분)
(2) 벽체 거푸집 인양작업	7-8	11,101.1 ~ 15,885.7	79.74 (분)
(3) 벽체 거푸집 조립작업	12-16	15,885.7 ~ 27,664.0	196.31 (분)
(4) 슬래브 거푸집 해체작업	20-23	15,885.7 ~ 25,181.9	154.94 (분)
(5) 슬래브 거푸집 인양작업	28-29	27,664.0 ~ 31,393.6	62.16 (분)
(6) 슬래브 거푸집 조립작업	31-32	31,393.7 ~ 42,806.7	190.22 (분)
(7) 기타 작업	35-46	42,806.7 ~ 45,510.5	45.06 (분)
총 작업시간[(1)+(2)+(3)+(4)+(6)+(7)]			758.51 (분)

4.2.2 시뮬레이션 모델 검증

실제 공동주택 공사현장에서 소요된 시간과 CYCLONE 모델을 통해 얻은 결과 값을 비교·분석 하였다. 검증대상 사례는 A지구 A-1동, A-2동, B지구 B-1동에 대해 실시하였으며, 실측값, 시뮬레이션 시간, 오차율은 표 12와 같이 나타났다. 시뮬레이

션 시간은 작업에 소요되는 최적의 시간을 의미하며, 모든 결과값이 실측값보다 낮게 도출되었으므로, 개발된 CYCLONE 모델은 거푸집 공사의 작업 프로세스를 잘 구현한 것으로 볼 수 있다.

표 12. 시뮬레이션 모델 검증결과

대상	실측값	시뮬레이션 시간	오차율
A-1동	520 분	494.56 분	4.98%
A-2동	350 분	318.04 분	9.13%
B-1동	471 분	403.77 분	14.44%

시뮬레이션 시간과 실측값과의 차이가 발생하는 원인을 살펴보면 다음과 같다. 최초자료는 하절기에 수집하였으며, 검증자료는 동절기에 수집하였다. 최초자료의 작업조는 다수의 시공경험이 있었으나, 검증자료를 수집한 작업조는 외국인 노동자를 비롯한 숙련도가 상대적으로 낮은 기능공들이 포함되어 있었다 따라서, 첫째, 하절기와 동절기라는 계절적인 요인에 의해 현장 작업자들의 작업속도가 낮아지고, 둘째, 작업자의 숙련도에 따라 작업의 속도에 차이가 나타난 것으로 판단되었다.

표 13. 민감도 분석을 위한 변수인력(판상형)

Resource Information		Productivity Information		
형틀목공 (해체)	형틀목공 (조립)	시간(초)	단위유닛 시간당 비용	단위유닛 생산성당 비용
1	3	129,643.00	6,791.98	880,590,212
1	4	112,431.90	8,493.92	954,550,010
...
2	3	1,400,677.40	8,491.29	856,242,565
2	4	83,466.40	10,193.48	849,620,820
2	5	73,140.10	11,886.91	868,569,198
...

4.2.3 민감도 분석

CYCLONE 모델의 민감도 분석을 통하여, 거푸집 공사에 대한 최적의 작업인원을 도출 할 수 있다. CYCLONE 모델에서 최적의 작업인원이란 동일한 면적을 기준으로 동일한 시간동안의 투입비용(생산성당 비용)이 가장 낮은 작업인원을 의미한다. 판상형, 탑상형, 혼합형을 대상으로 민감도 분석을 실시하였으며, 표 13과 같이 CYCLONE 모델에서 인력범위를 조정하여 결과를 도출할 수 있다.

표 14. 주동의 유형에 따른 민감도 분석결과

구분	작업인원(노무량)	형틀목공		계
		(해체)	(조립)	
판상형	단위유닛 당 작업인원	1	3	4
	단위유닛 생산성 당 작업인원	2	4	6
탑상형	단위유닛 당 작업인원	1	3	4
	단위유닛 생산성 당 작업인원	2	4	6
혼합형	단위유닛 당 작업인원	1	3	4
	단위유닛 생산성 당 작업인원	2	4	6

6) Cho, K. M., 2009, Integrated Schedule and Cost Management Model for Repetitive Construction Process of High-rise Building, Ph.D Dissertation, University of Seoul, p.118

민감도 분석을 위한 형틀목공의 입력범위는 형틀목공(해체)의 경우 1인에서 3인이 투입가능하며, 형틀목공(조립)의 경우 3인에서 5인으로 가정하였다. 민감도 분석 결과를 바탕으로 표 14와 같이 거푸집 공사에 대한 최적의 작업인원을 선정할 수 있다.

따라서 본 모델을 통해 도출된 거푸집 조립작업 4인과 거푸집 해체작업 2인의 작업조를 본 모델에서 제시하는 최적의 작업조로 설정할 수 있다.

이와 함께, 주동의 평면유형에 따른 분석결과를 보면 모두 동일한 작업인원이 산정된 것을 확인할 수 있다. 즉, 본 사례에서는 거푸집의 면적 및 평면유형이 생산성에 영향을 미치지 않는다고 판단할 수 있다.

표 15. 시공량 산정을 위한 단순회귀분석 결과

구분	R	R ²	R ² _{adj.}	추정값의 표준오차
모형요약	.910	.828	0.822	210.393

구분	항목	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
분산 분석	선형회귀분석	5,757,560.70	1	5,757,560.7	130.070	.000(a)
	잔차	1,195,157.10	27	44,265.08		
	합계	6,952,717.80	28			

모형	변수	비표준화계수		표준화계수		t	유의확률
		B	표준오차	베타(β)			
계수 분석	상수	250.099	88.33			2.843	.008
	X ₁	형틀목공	69.499	6.094	.910	11.405	.000

· 예측값 : (상수), 형틀목공

회귀모델	Y = 69.499X ₁ + 250.099
------	------------------------------------

4.3 시공량 산정을 위한 회귀모델 개발

4.3.1 회귀모델 개발

2009년 10월부터 12월까지 수행한 3개월 동안의 A지구 자료 29개를 분석하여 거푸집 공사작업에 투입되는 형틀목공 수와 시공량에 대해 데이터베이스를 구축하였다. 구축된 자료에 대한 분석을 위해서 SPSS 12.0 for Windows를 사용하여, 독립변수를 형틀목공 수(人)로 설정하고 종속변수를 시공량(m²)으로 설정한 후 회귀분석을 실시하고 표 14와 같이 결과를 도출되었다.

이상치가 존재하지 않는 것으로 확인되어 29개의 데이터를 대상으로 회귀분석을 실시하였으며, 수정된 결정계수(R²_{adj.})의 값은 0.822고, 이때의 유의확률(p-value)은 0.000이며 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 회귀분석에 의한 결과를 살펴보면, 도출된 회귀식은 식(2)와 같다.

$$Y = 69.499X_1 + 250.099 \quad \dots \dots \dots (2)$$

(Y: 시공량, X₁: 형틀목공의 수)

4.3.2 회귀모델의 검증

개발된 회귀모델에 대해 검증을 실시하기 위하여, A지구 1개 층 자료(A-3동)와 B지구 2개 층 자료(B-2동, B-3동)를 바탕으로 검증을 실시하였다. 검증항목은 투입된 작업인원과 시공량을 대상으로 하였다.

회귀모델을 통해 산정된 시공량에 대한 검증 결과를 살펴보면, 표 16과 같이 각각의 오차율이 각각 -2.96%와 3.60%, 5.96%의 차이를 보이고 있다. 따라서 회귀모델의 검증을 통하여 모델의 유의성을 확인하였다.

식(2)에 대입을 하여 도출된 시공량을 정리하면, 형틀목공 6인이 1일(8시간) 668 m²의 작업을 할 수 있다.

표 16. 시공량 산정을 위한 회귀모델의 검증

구분	작업인원	실제 시공량	추정 시공량	오차	오차율
A지구 A-3동	10 인	966,897 m ²	945,089 m ²	-21,808 m ²	-2.96 %
B지구 B-2동	12 인	1,046,454 m ²	1,084,087 m ²	37,633 m ²	3.60 %
B지구 B-3동	17 인	1,351,027 m ²	1,431,582 m ²	80,555 m ²	5.96 %

4.3.3 작업조 기반 Cost Data Prototype 제시

CYCLONE 모델의 민감도 분석을 통해 제안한 최적의 작업인원과 회귀모델을 통해 산출한 시공량을 바탕으로 작업조 기반의 Cost Data Prototype을 표 17과 같이 제안하고자 한다.

표 17. 작업조 기반 Cost Data Prototype (알루미늄 거푸집 공사)

(일당)

배치인원(인)	작업	시공량(m ²)	비고
형틀목공	4	668,293	
	2		

4.3.4 표준품셈과 Cost Data Prototype의 비교

실제 공사현장의 자료를 바탕으로 비교·분석을 실시하였으며, 대상 사례는 A지구 A-4동의 12층 사례를 대상으로 하였다. 1개 층에 대한 총 거푸집 공사의 작업면적은 1,562.96 m² (슬래브+벽체)으로 산정할 수 있다. 알루미늄 거푸집 1,562.96 m²에 대해 투입되는 작업인원을 산출하면 표 17과 같다.

현행 표준품셈을 통해 산출된 작업인원은 112.5 인으로 나타났다. 거푸집의 작업면적에 대한 소요기간을 확인할 수 없다. 하지만 작업조 기반의 모델을 활용하면, 6 인 기준으로 2.3 일이

표 18. 표준품셈과 작업조 기반의 Cost Data 비교

구분	배치구분		작업일수
	작업자	인원(인)	
표준품셈	형틀목공	112.5	알 수 없음
작업조 기반 모델		6	2.3 일
		12	1.2 일

참고문헌

소요되었으며, 형틀목공 12 인을 기준으로 할 때에는 1.2 일이 소요됨을 알 수 있다.

본 연구는 동일한 평면이 반복되며, 시공경험이 풍부한 공공 아파트를 대상으로 수행하였으므로, 다른 시설물의 거푸집 공사보다 생산성이 높게 측정되었다. 따라서, 범용적인 생산성 정보를 사용하는 표준품셈과는 투입인원에 있어서 차이가 날 수 있다. 그러므로, 향후에는 표준품셈의 투입인원에 대해서 여러가지 생산성 변수(시설물, 부위 등)를 고려하여 다양하게 제시할 필요가 있음을 알 수 있다.

5. 결론

공공 건설공사의 예정가격을 산정하기 위해 표준품셈이 활용되고 있으나, 현행 표준품셈은 대표적인 공법과 현장조건을 기준으로 작성되어 건설공사의 다양성 및 시공기술의 향상에 따른 신속한 반영이 어려운 단점이 있다. 그리고 건설공사의 공사비를 산정하는데 많은 노력이 요구되는 등 문제가 제기되고 있어 합리적이고 효율적인 공사비를 산정하는데 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 건설공사의 공사비를 합리적으로 산정할 수 있는 작업조 기반의 Cost Data Prototype을 제시하고 거푸집 공사의 생산성을 분석할 수 있는 CYCLONE 모델을 개발하였다. 개발된 모델을 활용하여 최적의 작업조를 파악할 수 있고, 회귀식을 통하여 작업량을 산정할 수 있으며, 이를 바탕으로 거푸집 공사에 대한 Cost Data Prototype 도출이 가능하였다.

CYCLONE 모델은 민감도 분석을 통해 최적의 작업인원을 제시하는 모델이며, 거푸집 공사의 다양한 면적을 대상으로 생산성을 분석할 수 있는 도구로 활용이 가능하다. 그리고 작업량을 산정하는 회귀식은 거푸집 공사의 작업인원에 대해 필요한 작업량을 예측하는데 활용이 가능할 것이다.

하지만 작업조의 범위 지정시, 기공과 조공으로 구분하지 않았으며, 작업량을 산정하는 회귀분석 과정에서 영향력이 큰 변수만을 고려하였다. 향후, 본 연구에서 고려하지 못한 다양한 변수와 실적자료들을 추가적으로 고려하여 회귀분석을 수행한다면 보다 정확한 Cost Data 를 제안할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 건설교통 R&D정책인프라 사업(과제번호:06기반구축 A03) 결과의 일부임.

- 강운식, 권석원, 김찬규, (2006), “건설공사 원가산정의 표준품셈과 실적공사비 비교연구”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 한국건설관리학회, pp.82~85.
- 김도형, 김경래, (2001), “공동주택 SYSTEM FORM 공사의 생산성 분석 및 향상방안 제안”, 한국건설관리학회 논문집, 제2권 제3호, 한국건설관리학회, pp.101~109.
- 김두석, 김용수, 2000, “벽식 철근 콘크리트 거푸집 신공법의 생산성 분석 및 적용활성화 방안 연구”, 건설환경논문집, 제12권 제1호, 중앙대학교, pp.115~133.
- 김원규, (2000), 한국 산업의 생산성 분석, 산업연구원.
- 김태훈, 신윤석, 조성수, 강경인, “초고층 골조공사의 바닥 거푸집별 생산성 분석”, 한국건축시공학회 학술발표대회논문집, 제7권 제2호, 한국건축시공학회, pp.115~118.
- 유금록, (2005), “공공부문의 생산성 측정을 위한 비방사적 맘퀴스트 생산성 지수의 측정방법과 적용”, 정책분석평가학회보, 제15권 제2호, 정책분석평가학회, pp.99~125.
- 안지성, 2008, “표준품셈 재·개정 프로세스 및 손율산정 개선방안에 관한 연구”, 인하대학교 석사학위논문.
- 이신모, (1993), “서비스 제공기업의 생산성 측정과 생산성 증대방안에 관한 연구”, 한국생산성학회논문집, 제7권 제1호, 한국생산성학회, pp.55~79.
- 이학주, 김대원, 조훈희, 강경인, (2008), “큐잉이론을 이용한 고층건물 가설리프트 계획모델 구축에 관한 연구”, 한국건설관리학회 학술발표대회논문집, 한국건설관리학회, pp.635~640.
- 전상훈, 구교진, (2008), “공동주택 골조공사의 표준품셈 노무량과 실투입 노무량 비교”, 한국건설관리학회 논문집, 제9권 제2호, 한국건설관리학회, pp.182~189.
- 전재열, (2002), “실적자료 분석에 의한 건축공사비 산정방법 적용에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제18권 제4호, 대한건축학회, pp.121~128.
- 하기주, 최민권, 이동렬, 하민수, (2008), “신진국 사례연구를 통한 국내 실적공사비의 개선방안”, 대한건축학회 학술발표대회, 대한건축학회, pp.541~544.
- Cho, K. M., (2009), Integrated Schedule and Cost Management Model for Repetitive Construction Process of High-rise Building, Ph.D Dissertation, University of Seoul
- David, J. S., (1984), Productivity Engineering and

- Management, MacGraw-Hill Book Company
- Halpin, D. W., and Riggs, L. S., (1992), Planning and Analysis of Construction Operations, John Wiley & Son, Inc.
- Han, S. W., and Halpin, D. W., (2005), "The Use of Simulation for Productivity Estimations based Multiple Regression Analysis", Winter Simulation Conference
- Lee, U. K., Kang, K. I., and Cho, H. H., (2006), "Decision Support Tool for Excavation Operation using Genetic Algorithms", Architectural Research, 8(2), pp.43~48.

논문제출일: 2011.06.03
논문심사일: 2011.06.10
심사완료일: 2011.10.18

요 약

합리적인 방법에 의해 결정된 건설 공사비를 포함하여 계약을 체결하는 것은 공공 건설공사의 사업비 관리 측면에서 매우 중요하다. 국내에서는 건설 공사비를 산정하는 기준으로 표준품셈이 사용되고 있지만, 표준품셈에서 제시하는 품의 적정성에 대해서 문제가 제기되고 있으며, 현장의 자원 투입량과 품셈에서 제시하는 자원 투입량의 차이로 합리적이고 효율적인 공사비를 산정하는데 어려움이 있다.

본 연구에서는 건설 공사비를 합리적으로 산정하기 위하여, 공동주택 거푸집 공사의 생산성 분석을 통한 작업조 기반의 Cost Data Prototype을 제시하였다. 특히, CYCLONE 모델은 민감도 분석을 통해 최적의 작업인원을 제시하는 모델이므로, 거푸집 공사의 다양한 작업공간과 작업인원을 대상으로 생산성을 분석할 수 있는 도구로 활용이 가능하다. 그리고 개발된 회귀식은 거푸집 공사의 작업인원을 독립변수로 하여, 필요한 작업량을 종속변수로 예측하는데 활용이 가능할 것이다.

키워드 : 생산성 분석, 작업조, Cost Data Prototype, CYCLONE
