

공동주택 거푸집공사 작업량 분석에 따른 개선 방안에 대한 연구

Suggestion improvement measures based on form work productivity analysis in apartment housing construction

윤 자 영* 김 영 석** 김 재 준***
 Yoon, Ja-Young Kim, Young-Suk Kim, Jae-Jun

Abstract

A competitive construction project must address factors such as cost, performance, aesthetics, schedule and quality. The importance of these factors will vary from project to project and from market to market. Productivity is becoming an ever-more important factor in the acquisition of a project. As the technology or aesthetics of a product matures or stabilizes, and the competitive playing field levels, competition is increasingly based on time.

Recently, the construction industry has been depressed due to difficult market circumstances. At this time in particular, construction companies are striving to rationalize their management, both in their planning offices and in the field. In this study, we present a method of calculating a reasonable duration for reinforced form work. We did this by first developing a question for field workers, then sampling form workers based the question. Second, we employed a work analysis method to analyze worker's work-methods and Time. Then, using the result of this analysis, we measured the Productivity of form work. This measure can be used as basic data to determine the appropriate duration of form work.

Keywords : Form work, productivity, Work sampling, Apartment housing

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축공사는 제조업 등 타 산업에 비하여 인력 의존도가 높은 건설업의 특수성으로 인하여 생산성이 많이 떨어져 있다. 1990년도 초반 주택200만호 건설 등 국가주도의 강력한 건설정책으로 인한 건설인력의 수요-공급 불균형으로 대폭적인 임금상승을 가져왔고, 97년 하반기부터 시작된 IMF 금융위기로 인한 건설경기 침체로 건설회사의 존속이 힘든 상황으로 치달고 있다. 이에 대해 건설기업들은 저가낙찰제도하의 치열한 수주경쟁과 수요자의 고품질화라는 건설환경하에서 수요자의 요구를 충족하면서 기업의 존속을 위해 최소비용의 최대효용이라는 경영원칙에 입각하여 품질은 저하시키지 않고 원가를 절감하는 노력을 하고 있는 실정이다.

오늘날 국내 건설 분야에서 과학적인 공사관리가 정착되지 못하는 주요원인은 비현실적인 표준품셈과 정부노임단가, 직종별, 공종별 생산성 지표의 부재, 관리방법 연구 및 현실 적용성이 떨어짐으로써 관리의 효율이 충분히 발휘되지 못하고 있기 때문이다.

다¹⁾. 과학적인 공사관리가 정착되지 못하는 원인들은 과거로부터 건설업이 가지고 있는 고질적인 문제들로 지적되어 왔다. 국내 현실에 비추어 볼 때 경제적이고 과학적인 공사 관리의 효과를 발휘하기 위해서는 원가와 공정을 고려한 주요공종들을 집중관리하고 주요공종들에 대한 생산성 기준을 수립하는 것이 필수적이다.

본 연구는 주요공종 중 거푸집공사의 작업량 분석을 통해 생산성 기준을 마련하고, 생산성 향상 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

최근에 우리나라 주택 보급율은 2006년도 기준 107.1%이다. 전국에 건설되는 1년간의 주택 수는 433,488호이고, 그중 공동주택의 대부분을 차지하고 있는 아파트는 331,579호로 전국 건설주택 대비 약 76.49%를 차지하고 있다²⁾. 이는 주택의 대부분을 차지하는 아파트공사의 생산성을 높이는 것이 전체주택공사의 생산성을 높이는 것과 같다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 공동주택을 대상으로 한정하였고, 공동주택공사의 생산성 향상에 영향을 미치는 주요공종 중 거푸집공종을

* 한양대학교 건축환경공학과 박사과정
 ** 한양대학교 건축공학과 박사과정
 *** 한양대학교 건축공학과 교수

1) 대한주택공사, 주요공종별 공정 및 생산성 분석, 1994.1
 2) 통계청 자료(<http://www.nso.go.kr>)

연구의 범위로 한정하였다. 생산성 측정을 위해서 2008년 기준 1군 건설회사가 시공 중인 아파트 건설현장을 선정하여 조사한다. 연구대상 공종을 선정하여 생산성을 극대화하기 위해 최적성, 경제성, 범용성, 효용성, 효율성, 실현가능성, 긴급성을 고려하였고, 대상공종은 내역서 중심의 원가 분석에 의한 주요공종과 표준공정표(standard critical path method diagram) 중심의 주공정선(critical path)에 의한 주요공정을 고려하여 선택하였다. 생산성 분석은 생산성 분석기법으로 많이 사용하고 있는 워크샘플링 기법을 사용하였다.

2. 기존연구 및 이론 고찰

2.1 생산성 분석에 대한 이론적 고찰

본 절에서는 생산성의 일반적인 개념과 다양한 분석방법에 대해서 살펴본다.

생산성이란 어떠한 생산체계(production system)를 통해 일련의 생산품을 일정기간동안 생산해낼 때 투입된 자원(input)의 양과 그로 인해 발생된 결과물 또는 산출물(output)의 비로 정의할 수 있다. 생산성의 향상은 기존의 생산체계 또는 생산 활동의 문제점과 개선점을 발견하고 이를 해결함으로써 이룩할 수 있다. 이때 개선 전과 개선 후의 생산성을 각각 측정하여 비교 분석할 수 있다면 과연 생산성이 얼마나 향상되었는가를 객관적으로 평가할 수 있을 것이다.³⁾

건설산업의 생산성 분석방법은 여러 가지가 있으나 기법을 선정하기 전 건설산업의 특성을 반드시 살펴보아야 한다. 왜냐하면 건설산업에서는 현장에 투입되는 자원의 형태가 매우 다양하며 생산과정의 하나인 생산라인에서 이루어지는 일반 제조업과는 달리, 많은 생산자들이 한 현장에 모여 각기 다른 생산활동을 수행하는 현장단위의 일품 주문생산의 특성이 있기 때문이다. 이 외에도 건설업의 특성상 생산성 분석이 모호해 질 수 있는 여러 가지 요소들이 있다. 또한 생산성 분석방법 중 어떠한 방법이 건설생산성을 측정하는 데 최선의 것인가에 대하여도 여러 가지 의견이 있을 수 있다.

2.2 워크샘플링(Work Sampling)

워크샘플링에 의해 얻고자 하는 조사항목의 시간적 구성비율 P는 아래 식에서 보는 바와 같이 총관측수 n에 대해 그 활동항목이 관측되는 횟수 X에 의해 구해진다.

시간적 구성비율(P) = 그 활동항목이 관측된 횟수(X) / 총 관측수(n)

즉, 큰 집단 중에서 표본을 추출하여 표본의 경향으로부터 집

단전체의 상태가 어떠한 것인가를 추정할 수 있는데 이 표본을 “샘플”(sample), 큰 집단을 “모집단”(population)이라 하고 이런 기법(technique)을 “샘플링”(sampling)이라 한다.

워크샘플링의 기본공식은 다음과 같다.

워크샘플링의 결과를 규정하는 것은 신뢰도와 정밀도이다. 워크샘플링에서 샘플의 크기는 기간중의 관측횟수 N, 1회마다 또는 1일마다 샘플의 크기 n으로 표시한다.

관측횟수, 즉 샘플의 크기와 신뢰도는 서로 상관관계에 있으므로 샘플링에 앞서 어느 정도의 신뢰도가 필요한가를 우선 결정해야 한다. 워크샘플링에서 가장 흔히 사용되는 신뢰도는 95%로서, 정규분포곡선의 2배의 표준편차 (2σ)의 영역이다. 정도를 결정하는 기초로서 이항분포를 사용할 때, 신뢰도 95%(2σ)인 경우 발생현상(P)과 샘플의 크기(N)와의 관계식은 다음과 같다.

$$Sp = 2\sqrt{\frac{P(1-P)}{N}} \dots (1)$$

(1)식을 샘플의 크기(N)에 대하여 변형시키면, 다음과 같은 계산식을 얻을 수 있다.

1) 절대정도 Sp(신뢰도 95%)로부터 구하는 경우

$$N = \frac{4P(1-P)}{(Sp)^2} \dots (2)$$

2) 상대정도 S(신뢰도 95%)로부터 구하는 경우

$$N = \frac{4(1-P)}{Sp} \dots (3)$$

P는 워크샘플링에 의하여 최종적으로 구하고자 하는 것이므로 우선은 P의 추정치로써 N을 계산하고, 어느 정도 샘플링이 진행된 다음에 P의 값을 계산하여 이를 대입하여 N을 재계산할 수 있다.

워크샘플링의 기법에서는 특별한 이유가 없는 한 관리기준 신뢰도를 95%가 사용된다.

워크샘플링 기법에서 사용되는 오차에는 상대오차와 절대오차가 있으며, 그 값은 각각 2~3%, 5~10%가 사용되고 있다. 시간 분석자들은 신뢰도가 높고 오차가 적은 것을 희망하나 이것을 워크샘플링 기법의 결과를 무엇에 사용할 것인가에 따라 달라진다.

워크샘플링의 실시순서는 다음과 같다.⁴⁾

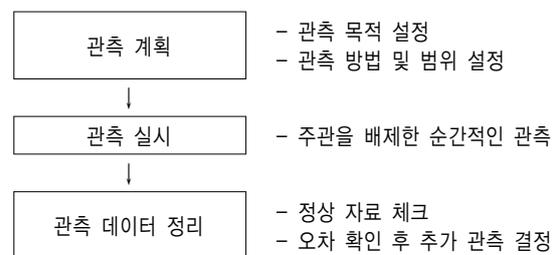


그림 1. 워크샘플링 실시 순서

3) 건설산업연구원, 건설관리 및 경영, 보성각, pp.432~436, 1997.1

4) 신성현, 워크샘플링 기법에 의한 작업측정에 관한 연구, 인하대학교 경영대학원 석사학위 논문, pp.32~34, 1986.2

1) 관측의 계획

- ① 관측의 목적을 명확하게 한다.
- ② 관계자에게 충분한 설명을 함으로 경계심과 반발을 없애도록 한다.
- ③ 관측대상의 범위를 정하고 워크샘플링의 층별화를 한다.
- ④ 관측항목과 횟수를 정한다.
- ⑤ 관측일수와 1일의 관측횟수를 정한다.
- ⑥ 관측시각과 경로를 결정한다.
- ⑦ 관측목적에 합치하는 관측용지양식을 결정한다.
- ⑧ 관측자를 결정 후, 예비 관측을 한다.

2) 관측의 실시

관측을 실시하는데 중요한 것은 관측자의 주관이 들어가지 않도록 하는 것이다. 관측대상의 상태가 계속 변화하고 있는 만큼 순간적인 관측을 통하여 판단한다. 관측대상 중 피 관측자가 부재중일 경우는 그 이유를 조사하도록 한다.

3) 관측 데이터(data)의 정리

관측이 정상적인 상태를 관측하였는가를 검토하기 위해 다음과 같이 데이터를 정리한다.

- ① 매일의 관측이 끝나면 항목마다 집계하여 관측된 자료가 해당공정을 대표할 수 있는 정상적인 자료인지의 여부, 즉 측정자료의 동질성에 관한 검정을 위해 P관리도를 작성하여 넘는 데이터는 제외한다.
- ② 관측기간중의 작업율, 여유율, 비작업율 등을 조사하고 정상적인 상태가 아닌 경우에는 데이터를 제외한다.
- ③ 오차를 확인한다 : 관측결과가 오차의 범위 내에 들었나를 확인하고 만약 오차 범위 내에 없는 경우에는 필요에 따라 추가 관측을 실시한다.

3. 주요공종 분석

3.1 생산성 원가분석

원가 분석에 의한 주요공종은 6개 현장 도급내역서를 기준으로 내역항목의 가격분포를 분석한 결과, 전체 내역항목 중 각각의 20개 항목들이 전체 공사비의 약 30%를 차지하는 것으로 나타났다. 이것은 전체 내역항목 중 20%의 항목이 전체 공사비의 80%를 차지한다는 파레토법칙을 대표한다고 할 수 있다. 20%의 공종을 집중 관리함으로써 생산성면에서 보다 효과적이라 할 수 있다. 이에 도급금액이 높은 상위 20개 공종을 추출하였다.

상위 20개 공종 내역서를 살펴보면 주요공종으로 선택된 공종들은 골조공사의 형틀공종, 철근공종, 콘크리트타설 공종이다. 이들 공종들은 원가와 공정에 가장 많은 영향을 주기 때문에 체계적

이고 효율적인 공사관리가 요구된다.

3.2 거푸집공사의 특성

거푸집공사는 거푸집공사의 작업일수는 4일이며 작업조가 세 대당 4명으로 4세대 16명이 소요되며 계단작업2명, 기타 2명으로 총 20명의 인원이 4일간 작업으로 80명이 소요되어 1,965㎡의 거푸집을 설치한다. 콘크리트 타설후 1일간의 양생기간이 지나면 벽매김작업 후 외부갯폼 거푸집 인양작업을 한다. 벽체는 유로폼으로 구성되고 스투브는 내수용 합판거푸집(3×6)이며 발코니, 계단, 복도부위는 코팅합판(4×8)을 사용한다.

4. 생산성 분석

4.1. 워크샘플링에 의한 생산성 분석

4.1.1 현장개요

본 연구에서 조사대상으로 한 현장의 공사개요는 다음과 같다.

〈공사개요〉

공사명 : 상암 3공구 8단지아파트 건설공사

대지위치 : 서울시 마포구 상암동 상암택지개발지구내

대지면적 : 92,785,000 ㎡(15,967.39평)

건축면적 : 8,078,34 ㎡(2,443.7평)

연 면 적 : 105,891.37 ㎡(32,032.144평)

구 조 : 철근콘크리트조

건설호수 : 672세대

공사기간 : 2004.11.1 ~ 2008.1.16

4.1.2 관측대상 및 항목

1) 관측대상

관측대상은 골조공사가 진행중인 아파트 현장을 대상으로 하였다. 내역서 중심의 원가분석에 의한 주요공종과 표준공정표 중심의 주 공정선에 의한 주요공정을 고려하여 선택된 거푸집공사, 철근공사, 콘크리트 공사의 생산성을 측정하였다. 생산성 측정의 기법으로 골조공사 1층분 cycle 공정에 대해 워크샘플링을 실시하였다.

2) 관측항목

관측 항목은 아파트 세대의 벽매김에서 콘크리트 타설 작업까지의 골조공사 중 거푸집공사들을 대상으로 하였고, 세부관측항목은 다음과 같다.

- ① 벽매김
- ② 유로폼 하부 수평작업
- ③ 벽체 유로폼(euro form) 설치작업

- ④ 명예장선 설치작업
- ⑤ 슬래브(slab) 합판거푸집 설치작업

4.1.3 관측횟수 및 시각

1) 1일 관측횟수, 총 관측횟수

1일 관측횟수는 40회로 하며, 총 관측횟수를 결정하기 위해서는 우선 신뢰도를 결정해야 하는데, 본 연구에서는 95%의 신뢰도를 적용하였다. 신뢰도 95%란 관측 횟수 중 95%는 사실을 나타내며 5%는 사실과 다를 가능성을 인정하는 것이다. 관측되는 샘플의 수가 많다면 분포가 정규분포에 가까워지므로 소요관측횟수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{표준편차} \delta = \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}$$

$$\text{상대오차} S = \frac{Z\delta}{\mu} = \frac{Z}{P} \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} = Z \sqrt{\frac{1-P}{nP}}$$

- δ : 표준편차
- n : 관측횟수
- S : 상대오차
- μ 또는 P : 모평균
- Z : 절대오차

표준 정규분포표를 이용하여 신뢰도 95%의 신용한계는 $\mu \pm 2\delta$ 이므로 상대정도 $S = 2\sqrt{\frac{1-P}{nP}}$ 가 되며, 관측횟수 n 은 $n = \frac{4(1-P)}{S^2 P}$ 로 구할 수 있다.

2) 관측시각

본 논문에서는 샘플링에 대해서 관측시각의 임의성을 확보하기 위해 엑셀로 일양분포(uniform distribution)를 따르는 난수를 발생시킨다.

난수(random number)란 주사위를 던져서 나온 점의 수와 같이 어떤 확률적인 규칙에 따라서 우연히 발생한 수를 말한다. 난수의 정의는 이와 같이 숫자 그 자체의 성질에 대해서 주어지지 않고 하기보다는 오히려 숫자를 발생시키는 과정이 확률적인 성질에 대해서 기술되는 것이다. 즉 어떤 과정이 확률적인 의미에서 서로 독립적이고 동일한 일양분포(uniform distribution)에 따르는 확률변수를 발생하는 것 일 때, 그 과정을 난수를 발생한다고 한다.

본 연구에서 대상공종의 관측시각은 오전 7시부터 오후 6시까지 총 11시간이다. 난수의 발생범위는 11시간을 초로 환산하여 1~39600으로 하였다. 오전7시부터 12시까지의 난수의 범위 1~18000은 관측시각의 작업범위이므로 취하였고, 오후12시부터 1시까지의 난수의 범위 18001~21600은 관측시각의 작업범위에서 벗어나는 난수(점심시간)이므로 제외하였고, 오후1시부터 6시

까지의 난수의 범위 21601~39600은 관측시각의 작업범위이므로 취하였다. 제외된 점심시간의 난수들은 추가로 난수를 발생시켰다. 예를 들어 난수가 13153이라면 발생된 난수 자체가 초과되므로 난수를 시, 분, 초로 환산하면 3시간 39분 13초이다. 7시를 기준으로 3시간 39분 13초 후에 측정하여야 하므로 10시 39분 13초가 된다.

1일 관측횟수가 40회이기 때문에 1일 중 작업시간에 40회의 관측횟수가 될 때까지 난수를 이용하여 샘플링 하였다.

4.1.4 관측양식 및 예비관측

1) 관측양식

관측양식을 작성하기 위하여 대상 현장에 방문하여 현장 담당자 및 작업 책임자와의 면담을 실시하여 피 관측자의 모든 행동이 수집될 수 있도록 자료를 수집한 결과 표 1과 같은 관측양식이 작성되었다.

표 1. 관측양식

구분	주	인정하는 지연									
		준비작업		작업여유		직장여유		인적여유			
공정명	작업	소운반	공구준비	도면검토	현장가공	장비점검	송장기입	통신	청소	생리적현상	
		인정하지 않는 지연						작업율	여유율	비작업율	비고
		비작업시간									
휴식	부재	잡담	자재미착	지각	정전	기상이변					

2) 예비관측

예비관측은 총 관측횟수 120회를 기준으로 4.2절에서 제시된 상대오차와 절대오차와의 관계식에 의해 총 관측횟수를 구하고 관측일수를 결정하였다.

표 2는 대상 대상현장 예비관측 결과를 정리한 것이다.

표 2. 예비관측 결과

공정명	예비관측결과					총관측수	1일관측횟수	관측대상수	관측일수
	예비관측횟수	주작업수	작업율	여유율	비작업율				
떡매김	120	65	54.17	30.83	15	1,892	40회	2조	24일
유로폼하부수평작업	120	53	44.17	30.83	25	1,266	40회	1조	32일
벽체유로폼설치	120	50	41.67	50.83	7.5	1,144	40회	1조	29일
장선·명에설치	120	68	56.67	35.83	7.5	2,093	40회	2조	27일
스래브합판거푸집설치	120	46	38.33	30	31.67	995	40회	1조	24일

4.2 관측결과 및 분석

관측 대상의 공정별 관측결과 및 분석은 관측용지에 1일 40회 관측한 결과를 기록하고, 작업율, 여유율, 비작업율을 산출한다. 산출된 실험결과 자료의 유효성 검증을 위하여 관리도를 작성하고 자료의 신뢰성을 검증한다. 최종으로 관측결과를 정리한다. 이러한 일련의 과정으로 도출된 관측결과를 기준으로 문제점 및 개선방안을 제시한다.

1) 떡매김

예비관측 결과에서 기술한 바와 같이 떡매김 작업의 95%의 신뢰도를 확보하기 위해서 1,892회의 관측횟수가 필요하다. 따라서 본 관측일수는 총 24일이고, 1일 관측횟수 40회, 1일 2조로 구성하였다. 이를 곱한 총 관측횟수 1,920회를 실시하였다.

떡매김 작업의 P관리도를 이용한 신뢰도 검증결과는 그림 1과 같이 관리평균(\bar{P}), 관리상한(UCL: Upper Control Limit), 관리하한(LCL: Lower Control Limit)을 아래와 같이 계산하여 검증하였다.

$$\bar{P} = \frac{654}{1920} = 0.341$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{0.341(1-0.341)}{40}} = 0.565$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{0.341(1-0.341)}{40}} = 0.116$$

총 관측수 1,920회 가운데 주 작업수는 1,266회, 인정하는 지연 수 534회, 인정하지 않는 지연 수는 120회가 각각 관측되었다.

떡매김 작업에서 비 작업요소 가운데 관측빈도가 높은 순으로 정리한 결과 인정하는 지연에서는 소운반 13.1%, 공구준비 6.6%, 장비점검 3.8%, 현장가공 2.2%등의 순으로 분석되었고, 인정하지 않는 지연에서는 휴식 4.6%, 부재 1.6%, 잡담 0.1%로 분석되었다.

소운반이 13.1%로 관측된 것은 떡매김 작업이 측량장비인 트랜싯을 이용하여 떡매김 작업을 하며, 인력에 의한 소운반에 의존하기 때문에 많이 관측되었다. 또한 줄자, 곱자, 접자, 금쇠, 다림추, 수준기, 먹통을 가지고 다니기 때문에 소운반 항목에 관측되었다.

공구준비는 6.6%로 관측되었는데, 이것 또한 측량장비 및 여럿 떡매김 연장이 필요하기 때문이다. 그러나 근래에는 레이저 광선을 이용한 측량장비가 초고층 건축물에 사용되고 있는 실정이다. 공구의 수를 줄일 수 있는 자동화 된 고급 장비 적용이 필요하다.

또한 거푸집 및 콘크리트 타설 작업의 시공성에 영향을 미치는 가를 고려하여, 콘크리트 키커를 설치하여 슬래브부의 떡매김 작업과 유로폼 하부수평 작업을 생략할 수 있음을 고려할 수 있다. 또한 바닥 콘크리트 타설높이를 설정하는 레벨마커(level marker)의 역할을 하므로 시공정밀도, 생산성, 시공성이 향상되고 콘크리트 이음부(시공줄눈)의 청소를 확실하게 하여 시공품질 또한 향상된다.

2) 유로폼 하부 수평작업

예비관측 결과에서 기술한 바와 같이 작업의 95%의 신뢰도를 확보하기 위해서 1,266회의 관측횟수가 필요하다. 따라서 본 관측일수는 총 32일이고, 1일 관측횟수 40회, 1일 1조로 구성하였다. 이를 곱한 총 관측횟수 1,280회를 실시하였다.

유로폼 하부 수평작업의 P관리도를 이용한 신뢰도 검증결과는 그림 2와 같이 관리평균(\bar{P}), 관리상한(UCL: Upper Control Limit), 관리하한(LCL: Lower Control Limit)을 아래와 같이 계산하여 검증하였다.

$$\bar{P} = \frac{580}{1280} = 0.453$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{0.453(1-0.453)}{40}} = 0.689$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{0.453(1-0.453)}{40}} = 0.217$$

총 관측수 1,280회 가운데 주 작업수는 700회, 인정하는 지연 수 494회, 인정하지 않는 지연 수는 86회가 각각 관측되었다.

검증결과 6~9번째의 관측자료가 관측자의 오류가 있는 것으로 판단되어 분석한 결과 거푸집 설치를 위한 해체 후 상층으로의 소운반을 관측하여 소운반으로 기재한 것으로 나타났다. 따라서 6~9일의 관측자료를 제거하고 추가관측을 실시하여 2차 검증을 하였다.

3차까지의 최종 관측결과를 검토한 결과 모든 관측자료가 관리한계 내에 분포함을 확인하였다. 총 관측수 1,160회 가운데 주 작업수는 692회, 인정하는 지연 수 273회, 인정하지 않는 지연 수는 195회가 각각 관측되었다.

벽체 유로폼 설치작업에서 비 작업요소 가운데 관측빈도가 높

은 순으로 정리한 결과 표 15와 같이 인정하는 지연에서는 소운반 17.6%, 현장가공 4.3%, 도면검토 1.1% 등의 순으로 분석되었고, 인정하지 않는 지연에서는 휴식 9.8%, 부재 6.2%, 자재미착 0.8%로 분석되었다.

휴식은 9.8%로 관측되었는데 인력에 의존하는 건설현장의 작업여건 상 적절한 휴식은 필요하기 때문에 문제가 없는 것으로 판단된다.

부재가 6.2%로 관측된 것은 작업자의 작업장 이탈이 많이 있었던 것이다. 이러한 문제는 현장 관리상의 문제로 현장작업계획 수립을 철저히 하여 작업자의 이탈을 방지할 수 있을 것이다.

현장가공은 4.3%로 관측되었고, 유로폼에서 발생하는 현장가공은 유로폼 설치 이후 최종 마무리를 위한 합판거푸집의 가공이고, 이러한 거푸집 또한 현장에서 가공하여 사용하는 것보다는 현장개설 시점에 거푸집 설치계획에 의해 공장에서 제작하여 현장에서는 설치작업만 실시할 경우 현장가공이 개선될 것이다.

3) 명에장선 설치

예비관측 결과에서 기술한 바와 같이 명에장선 설치작업의 95%의 신뢰도를 확보하기 위해서 2,093회의 관측횟수가 필요하다. 따라서 본 관측일수는 총 27일이고, 1일 관측횟수 40회, 1일 2조로 구성하였다. 이를 곱한 총 관측횟수 2,120회를 실시하였다.

명에장선 설치작업의 P관리도를 이용한 신뢰도 검증결과는 그림 6과 같이 관리평균(\bar{P}), 관리상한(UCL: Upper Control Limit), 관리하한(LCL: Lower Control Limit)을 아래와 같이 계산하여 검증하였다.

$$\bar{P} = \frac{977}{2120} = 0.461$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{0.461(1-0.461)}{40}} = 0.697$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{0.461(1-0.461)}{40}} = 0.224$$

검증결과 1번째, 7번째의 관측자료가 관측자의 오류가 있는 것으로 판단된다. 따라서 관측자료 가운데 관리한계를 벗어나는 1번째, 7번째의 관측자료를 제거하고 추가관측을 실시하여 2차 검증을 하였다.

총 관측수 2,120회 가운데 주 작업수는 1,157회, 인정하는 지연 수 761회, 인정하지 않는 지연 수는 202회가 각각 관측되었다.

명에장선 설치작업에서 비 작업요소 가운데 관측빈도가 높은 순으로 정리한 결과 인정하는 지연에서는 소운반 25.9%, 현장가공 8.1% 공구준비와 통신 0.8%등의 순으로 분석되었고, 인정하지 않는 지연에서는 휴식 6.4%, 부재 2.4%, 자재미착 0.6%, 잡담 0.2%로 분석되었다.

소운반이 25.6%로 관측되었다. 명에장선 작업에 있어서 소운

반과 명에, 장선, 동바리의 조립작업이 주된 작업이라고 할 수 있다. 모듈화된 명에와 장선을 공장에서 미리 제작하여 놓여질 위치에 설치한다. 명에와 장선의 조립에 있어서 못질이 필요없이 장선과 명에의 홈(암수맞춤식)을 이용하여 시공성을 향상시키는 것이다. 동바리 부위도 명에에 홈(암수맞춤식)을 내어 간편하게 조립시키는 것이다. 숙련된 기능공이 아닌 일반 노무자들도 쉽게 할 수 있게 모듈에 맞게 시스템화하는 것이다.

현장가공은 8.1%로 관측되었다. 목재로 된 명에, 장선 또한 현장에서 가공하여 사용하는 것보다는 현장개설 시점에 명에, 장선 설치계획에 의해 공장에서 제작하여 현장에서는 설치작업만 실시할 경우 현장가공이 크게 개선될 것이다.

휴식은 6.4%로 관측되었는데 하루작업시간 중 약 15%의 정도의 휴식시간은 외국의 관련문헌⁵⁾을 통해 볼 때, 국내 여건상 인력에 크게 의존하는 건설현장의 작업여건 비취 조금은 모자라지만 적절한 휴식은 필요하기 때문에 문제가 없는 것으로 판단된다.

부재가 2.4%로 관측된 것은 작업자의 작업장 이탈이 많이 있었던 것이다. 이러한 문제는 현장 관리상의 문제로 현장작업계획 수립을 철저히 하여 작업자의 이탈을 방지할 수 있을 것이다. 또한 전층 슬래브 거푸집 해체시 자재정리가 제대로 되지 않아 명에와 장선을 찾기 위해 배회하는 경우가 종종 관측되었다. 자재가 필요한 장소에 미리 정리되어 소운반 된다면 작업자의 부재 시간을 줄일 수 있다.

4) 슬래브 합판거푸집 설치

예비관측 결과에서 기술한 바와 같이 슬래브 합판거푸집 설치작업의 95%의 신뢰도를 확보하기 위해서 995회의 관측횟수가 필요하다. 따라서 본 관측일수는 총 25일이고, 1일 관측횟수 40회를 곱하여 총 관측횟수는 1,000회를 실시하였다.

슬래브 합판거푸집 설치작업의 P관리도를 이용한 신뢰도 검증결과는 관리평균(\bar{P}), 관리상한(UCL: Upper Control Limit), 관리하한(LCL: Lower Control Limit)을 아래와 같이 계산하여 검증하였다.

$$\bar{P} = \frac{429}{1000} = 0.429$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{0.429(1-0.429)}{40}} = 0.664$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{0.429(1-0.429)}{40}} = 0.194$$

검증결과 23~24번째의 관측자료가 관측자의 오류가 있는 것으로 판단되어 분석한 결과 거푸집 설치를 위해 거푸집 소운반을 주 작업으로 기재한 것으로 나타났다. 따라서 관측자료 가운데 관리한계를 벗어나는 23~24일의 관측자료를 제거하고 추가관측을 실시하여 2차 검증을 하였다.

5) Adrian, James J, Construction Productivity Improvement, Elsevier, pp.93~96, 1987

재검증 결과 모든 관측자료가 관리한계 내에 분포함을 확인하였다.

총 관측수 1,000회 가운데 주 작업수는 543회, 인정하는 지연 수 285회, 인정하지 않는 지연 수는 172회가 각각 관측되었다.

슬래브 합판거푸집 설치작업에서 비 작업요소 가운데 관측빈도가 높은 순으로 정리한 결과 인정하는 지연에서는 소운반 15.6%, 현장가공 8.2%, 공구준비 3% 등의 순으로 분석되었고, 인정하지 않는 지연에서는 부재 8.6%, 휴식 8.1%, 잦답 0.5%로 분석되었다.

소운반이 15.6%로 관측된 것은 슬래브 합판거푸집 설치작업이 작업층으로의 운반이 인력에 의한 소운반에 의존하기 때문에 많이 관측되었다. 외벽을 제외한 거푸집은 건축물 내부에 존재하기 때문에 거푸집을 제거하여 상층부로 이동하는 작업을 인력에 의한 소운반에 의존할 수밖에 없다. 따라서 소운반의 비율을 줄이는 것은 불가능하고 거푸집 자재의 개선에 주력해야 한다. 거푸집 자재의 개선은 경량화 및 운반에 용이한 모듈의 크기로 변형이 한 예가 될 수 있다.

부재가 8.6%로 관측된 것은 작업자의 작업장 이탈이 많이 있었던 것이다. 이러한 문제는 현장 관리상의 문제로 현장작업계획 수립을 철저히 하여 작업자의 이탈을 방지할 수 있을 것이다.

현장가공은 8.2%로 관측되었고, 슬래브 합판거푸집 발생하는 현장가공은 작업장 위에서 온장거푸집 설치 이후 최종마무리를 위한 합판거푸집의 가공이 대부분이다. 이러한 거푸집 또한 현장에서 가공하여 사용하는 것보다는 현장개설 시점에 거푸집 설치 계획에 의해 공장에서 제작하여 현장에서는 설치작업만 실시할 경우 현장가공이 크게 개선될 것이다.

5. 개선방안

기존 벽식구조 골조공사에서 이루어지고 있는 거푸집공사 프로세스는 먹매김 작업, 유로폼 하부수평작업, 벽형틀 조립작업, 멩에, 장선작업, Slab 합판거푸집 작업 순으로 작업이 이루어진다. 워크샘플링에 의해 분석된 거푸집공사의 반영된 개선 내용은 다음과 같다.

첫째, 콘크리트 키퍼(kicker) 타설용 거푸집을 설치함으로써 먹매김 작업과 유로폼 하부수평작업을 생략할 수 있다. 이는 골조공사 1사이클(cycle) 기준에서 2일의 공기절감 및 인건비절감 효과가 있다. 또한 바닥 콘크리트 타설높이를 설정하는 레벨마커(level marker)의 역할을 하므로 바닥 평활도를 유지할 수 있고, 시공정밀도, 생산성, 시공성이 향상되고 콘크리트 이음부(시공줄눈)의 청소를 확실하게 하여 종합적으로 시공품질을 향상시킬 수 있다. 따라서 정확한 시공계획을 바탕으로 콘크리트 키퍼(kicker)설치작업이 이루어져야한다.

둘째, 거푸집 작업을 위한 하층에서 작업층으로의 운반이 장비 투입구를 통해 인력에 의해 운반된다. 건물외벽에 자재 양중 야적함을 설치하여 작업층까지 타워크레인으로 운반하면 소운반의 시간을 줄이고, 운반을 위해 설치하는 천공부의 추가작업도 제거할 수 있다. 또한 이동동선을 고려하여 거푸집 자재의 경량화 및 모듈화가 이루어져야 한다. 공정별 개선사항은 표 3과 같이 요약된다.

표 3. 공정별 개선사항

공정	개선사항
먹매김작업	콘크리트 키퍼, 레이저측량장비
바닥평활도작업	콘크리트 키퍼, 레벨러
벽거푸집 작업	자재경량화, 자재야적함, 거푸집 설치계획에 따른 공장가공
멍에장선작업	자재시스템화(모듈화), 자재경량화, 자재야적 체계화
슬래브거푸집작업	자재경량화 및 모듈화, 코팅합판,

6. 결론

건설산업은 타 산업분야에 비하여 체계화되지 못하고 경험에 의한 의사결정이 이루어지는 비과학적 기준이 많아 생산성 향상이 더디게 이루어지고 있는 실정이다.

본 논문에서는 공사원가에 가장 큰 영향을 미치는 공동주택 골조공사의 효율적인 공사관리를 위한 거푸집공사의 작업분석을 실시하고 그 결과를 토대로 개선방안을 제시 하였다. 각각의 작업별로 생산성 향상을 위한 여러 가지 대안이 제시되었으며, 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

·거푸집 작업에서 하층에서 작업층으로 운반이 장비반입구(천공부)를 통해 인력에 의한 소운반에 의존하기 때문에 자재의 경량화가 요구된다. 또한 건물외벽에 양중야적함을 설치하여 작업층까지 타워크레인으로 운반하면 소운반의 시간을 줄이고, 운반을 위해 설치하는 천공부의 추가작업도 제거할 수 있다

·골조공사 기존 프로세스에서 콘크리트 키퍼(kicker) 타설용 거푸집을 설치함으로써 슬래브부의 먹매김 작업과 유로폼 하부수평작업을 생략할 수 있다. 이는 골조공사 1 사이클(cycle) 기준에서 2일의 공기절감 및 인건비절감 효과가 있다. 또한 바닥 콘크리트 타설높이를 설정하는 레벨마커(level marker)의 역할을 함으로 바닥평활도를 유지할 수 있다. 시공정밀도, 생산성, 시공성이 향상되고 콘크리트 이음부(시공줄눈)의 청소를 확실하게 하여 종합적으로 시공품질을 향상시킬 수 있다. 따라서 골조공사 수행에 있

어 불필요한 작업의 프로세스를 줄이고 효과적인 공사관리를 할 수 있도록 정확한 시공계획을 바탕으로 한 콘크리트 키커(kicker) 설치작업이 이루어져야 한다.

본 연구는 공동주택공사의 주요공종 중 거푸집공사의 생산성 향상을 위한 작업분석 연구이다. 그러나 워크샘플링에서 분석된 거푸집공사의 5개 공종을 시뮬레이션을 통하여 모두 검증은 하지 않는 못하였다. 거푸집공사 5개 공종에 대하여 모두 검증할 경우 거푸집공사에 대한 생산성 향상 효과가 나타날 것이다. 따라서 향후에는 개선방안을 보완하고 시뮬레이션을 모두 실시하여 공동주택의 골조공사 생산성 향상을 위한 분석모델을 완벽하게 구현해야 할 것이다.

encountered by contractors in Singapore, International Journal of Project Management, Vol.13, No.1, pp.51~58, 1995.2

(접수 2009.10.13, 심사 2009.11.29, 게재확정 2009.12.6)

참 고 문 헌

1. 건설산업연구원, 건설관리 및 경영, 보성각, 1997.1
2. 경영공학대계, 작업연구, 한국공업표준협회, pp.137, 1982
3. 김두석, RC아파트 내측벽 거푸집공사에 있어서 거푸집 공법별 생산성 비교에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(구조계) 제21권 제1호, pp.525~528, 2001.4
4. 김예상 외 3인, 워크 샘플링 기법을 활용한 작업 효율 향상에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제13권 제7호, 1997.7
5. 김예상, 건설생산성에 영향을 미치는 요인 분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제10권 제10호, pp.267~273, 1994.10
6. 박찬혁, 워크샘플링을 활용한 작업효율 향상에 관한 연구, 한양대학교 산업경영대학원, 석사학위 논문, 2000
7. 신성현, 워크샘플링 기법에 의한 작업측정에 관한 연구, 인하대학교 경영대학원 석사학위 논문, 1986.2
8. 정인환, 아파트공사의 주요공종별 공정 및 생산성 분석, 대한건축학회 논문집, 제11권 제4호, pp.269~277, 1995.4
9. David F. Rogge, Richard L. Tucker, Foreman-Delay Surveys: Work Sampling and Output, Journal of the Construction Division, Vol.108, No.4, pp.592~604, 1982.12
10. E C Lim/Jahidul Alum, Construction productivity: issues

요 약

건설산업은 타 산업분야에 비하여 체계화되지 못하고 경험 또는 관습에 의한 의사결정이 이루어지는 경우가 빈번하여 생산성 향상이 적극적으로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 특히, 대단위의 건설생산이 이루어지고 있는 공동주택의 공사에서 생산성 향상을 위한 과학적이고 분석적인 연구가 수행될 경우 그 파급효과가 대단히 클 것으로 기대된다.

따라서 본 논문에서는 공사원가에 가장 큰 영향을 미치는 공동주택 골조공사 중 주요공종인 거푸집공사의 효율적인 생산성 향상을 위한 공법개선안을 제시하고자 생산성 측정기법으로 워크샘플링을 활용하였다. 기존 거푸집공사에 대하여 작업절차를 분석하고, 각각의 작업별로 생산성을 분석하였다. 기존 작업법에서 분석된 문제점을 기반으로 개선방안을 제안하였다.

키워드 : 거푸집공사, 생산성, 워크샘플링, 공동주택공사