

벽식구조 거푸집공사의 품질 및 생산성향상을 위한 공법개선연구

A Study of Construction Methods for Quality and Productivity Enhancement of Form Works in the Bearing Wall Systems

이정호[○] 주진규[□] 김선국[△] 한충희[◇]
Lee, Jung-Ho Joo, Jin-Kyu Kim, Sun-Kuk Han, Choong-Hee

요 약

벽식구조 골조공사에서 거푸집공사는 원가에 지배적 비율을 점하고 RC 구조체의 중심공법으로 활용되고 있기 때문에 체계적이고 효율적인 공법개선이 요구된다. 이에 본 논문은 거푸집공사의 품질 및 생산성향상을 위한 공법개선을 목적으로 한다. 과학적인 분석기법을 통한 기존 벽식구조 거푸집공사의 문제점을 개선하고자 생산성 분석기법인 워크 샘플링을 활용하였다. 개선안을 도출하기 위한 방법론을 제시하고, 개선방향에 따라 거푸집공사의 품질 및 시공단순화를 위한 유닛화 및 기계화 방안으로 키퍼(kicker form)를 제시하였다. 이는 거푸집공사 수행에 있어 불필요한 작업프로세스를 줄이고 생산성 및 종합적인 시공품질이 향상될 것으로 판단된다.

키워드: 생산성향상, 품질향상, 거푸집공사, 워크샘플링, 키퍼(Kicker)폼, 공법개선

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

인건비 상승, 열악한 작업환경 기피, 건설시장 개방 등을 비롯한 사회경제적인 건설여건의 변화는 건설산업의 수익률 저하와 불안정성을 급속히 심화시키고 있다. 이러한 난관을 타개하기 위해서는 건설환경의 합리화 노력은 물론, 오랫동안 공급자위주의 시장여건하에서 답습해왔던 시공기술 그 자체 기술의 구현체제에도 적지 않은 발전적 변화가 요구되고 있는 실정이다. 벽식구조 골조공사에서 원가에 지배적 비율을 점하고 있는 거푸집공사는 상기와 같은 맥락에서 시급한 대체기술을 요구하고 있다. 거푸집공사는 골조공사 원가에 가장 많은 영향을 주기 때문에 체계적이고 효율적인 공법개선이 요구된다. 지금까지 수행되어온 거푸집 생산성 분석에 관한 기존의 연구는 투입인원과 공기, 작업물량을 조사하여 재래공법과 비교분석을 실시하였다. 그러나 이러한 연구들은 주로 공법에 소요되는 노무량을 중심으로 이루어졌으며, 연구의 수행시기가 오래되어 현실과는 다소 차이가 있는 것이 대부분이었다. 최근 수년간 이러한 상황은 더욱 절실히 인식되고 있으며, 공공발주자나 민간기업에서 선진각국의 거푸집기술을 국내현장에서 접목함으로

써 돌파구를 찾으려는 노력도 부단히 경주되고 있다.¹⁾ 그러나 해외도입기술은 우리나라의 건축구조적 특성이나 현장기술자의 습성에 맞지 않아서 예상치 않은 비용증가 요인만 가중시킨 후 도태되거나, 고도의 현장관리 능력을 갖춘 국한된 기업에서만 부분적으로 활용되는데 그치고 있다.

이에 본 연구는 이상의 필요성에 따라 벽식구조 RC 구조체의 중심공법으로 활용되고 있는 거푸집공사의 품질 및 생산성 향상을 위한 공법개선을 목적으로 한다. 거푸집공사의 생산성향상을 위한 공법개선을 연구함으로써 발생하는 기대효과는 거푸집공사 수행에 있어 불필요한 작업프로세스를 줄이고 생산성 및 종합적인 시공품질이 향상될 것으로 판단된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 파레토기법을 활용한 원가분석으로 건축물의 구조형식 가운데 원가에 가장 큰 영향을 미치는 벽식구조 골조공사의 거푸집공사로 대상을 연구의 범위로 한정하였다. 생산성 측정을 위해 조사대상현장은 벽식구조의 대표적 건설공사현장이라고 할 수 있는 아파트건설현장 거푸집공사로 한다. 관리상태 및 운용능력이 비교적 우수할 것이라 판단되는 2002년 기준 1군 건설회사²⁾업체 중 공정진행상태

* 학생회원, 경희대학교 건축공학과 석사과정

** 종신회원, 신동아건설 부장, 공학박사

*** 종신회원, 경희대학교 토목건축공학부 교수, 공학박사

1) 윤명오, 1997, 벽식콘크리트용 거푸집의 성능개선을 위한 실험적 연구, 대한건축학회논문집(구조계) 13권 2호 통권100호

2) 대한건설협회 <http://cak.or.kr>

가 골조공사만 진행중인 거푸집공사를 선정하여 조사한다. 연구방법은 생산성분석으로 많이 사용하고 있는 워크샘플링(work sampling)기법을 사용한다. 워크샘플링을 통해 거푸집공사에 대한 기존생산성을 분석하고 문제점들을 도출하여 공법개선방향을 설정하고 개선방향에 따른 공법개선안을 제시한다.

2 예비적 고찰

2.1 워크샘플링(Work Sampling)

(1) 워크샘플링의 정의 및 특성

생산현장의 현상을 정확하게 파악하는데 있어 규모가 큰 현장전체를 파악하기란 그리 용이한 일이 아니다. 현장에서 간편하게 사용하여 정확한 판단이 될 수 있는 방법이 가장 바람직하다. 이러한 의미에서 가장 효과적으로 사용할 수 있는 기법으로 워크샘플링을 들 수 있다. 이 기법은 통계적인 샘플링 방법을 이용하여 작업자의 활동, 기계의 활동, 물건의 시간적 추이 등의 상황을 통계적·계수적으로 파악하는 작업측정의 한 수단으로, 영국의 L.H.C. Tippett에 의해 1934년 처음으로 고안 된 기법이다. 이때 티벳은 순간관측법(snap reading)으로 이름을 붙였으며 그 후 작업(Working)을 관찰대상으로 한다고 해서 워크샘플링으로 불리게 되었다. 1941년 뉴욕대학의 R.L. Morrow 교수에 의해 워크샘플링으로 소개되면서 계속 통칭하게 되었다.³⁾

(2) 워크샘플링의 원리 및 절차

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

$$P(\text{시간적구성비율}) = \frac{X(\text{그활동항목이관측된횟수})}{n(\text{총관측횟수})} \quad (\text{식 1})$$

즉, 집단 중에서 표본을 추출하여 표본의 경향으로부터 집단전체의 상태가 어떠한 것인가를 추정할 수 있는데 이 표본을 샘플(sample), 큰 집단을 모집단(population)이라고 하고 이런 기법을 샘플링(sampling)이라 한다. 참고로, 워크샘플링 절차는 그림 1과 같다.

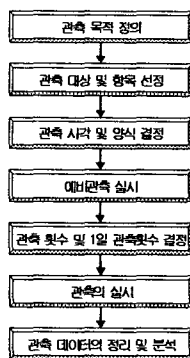


그림 1 워크샘플링 절차도

3. 워크샘플링에 의한 생산성분석

3.1 관측대상 및 항목

- 관측대상 현장 : S건설 K현장의 기준층 거푸집공사
- 관측항목 : ① 먹매김작업 ② 유로폼 하부 수평작업 ③ 벽체 유로폼 설치작업 ④ 명에·장선 설치작업 ⑤ 슬래브 합판거푸집 작업

3.2 관측시각 및 횟수

(1) 관측시각

관측시각은 난수발생기를 이용하여 관측자료의 임의성을 확보하였다. 난수의 발생범위는 오전7시부터 오후6시까지 총 11시간을 초로 환산하여 1~39600으로 하였다. 점심시간은 작업범위에서 벗어나는 난수이므로 제외하였다. 난수와 관측시각과의 관계는 표 1과 같다. 1일 관측횟수는 보통 20~40회를 실시하는데 본 연구에서는 40회를 적용하였다.

표 1. 난수와 관측시각과의 관계

난수	난수의 시간환산	시	분, 초	비고
13153	3시간 39분 13초	10시	39분, 13초	
16724	4시간 38분 44초	11시	38분, 44초	
21118	5시간 51분 58초	12시	51분, 58초	버림(점심시간)
33892	9시간 24분 52초	16시	24분, 52초	

(2) 1일 관측횟수 및 총관측횟수

본 연구의 관측은 95%의 신뢰도를 적용하였다. 소요 관측횟수에 따른 상대오차 및 표준편차는 식1과 식2와 같다.

$$\text{표준편차 } \delta = \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \quad (\text{식 2})$$

$$\text{상대오차 } S = \frac{Z\delta}{\mu} = \frac{Z}{P} \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} = Z\sqrt{\frac{1-P}{nP}} \quad (\text{식 3})$$

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

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

3.3 관측양식 및 예비관측

(1) 관측양식

관측양식은 워크샘플링의 결과분석에 가장 중요한 요소로 관측양식의 결정을 위해서는 실제 작업이 이루어지는 현장에 방문하여 사전조사를 실시하고 공정 및 작업의 선·후행관계를 규명하여 실제 워크샘플링을 실시할 때 혼돈이 없어야 한다. 관측양식은 표 3과 같다.

표 2. 관측양식

구분	주	인정하는 지연					인정하지 않는 지연										
		준비작업	작업여유	직장여유	인적여유	비작업시간	비	비	비	비	비						
공정명	작업	소운반	공구준비	도면검토	현장가공	장비점검	총장기입	통신	청소	생리적현상	휴식	부재	감담	자세미작	지각	정전	기상이변

3) Elwood S, Buffa, Modern Production Management, John wiley, 1960, p.9

(2) 예비관측

예비관측은 총관측횟수 120회를 기준으로 앞서 제시된 상대오차와 절대오차와의 관계식에 의해 총관측횟수를 구하고 관측일수를 결정한다. 예비관측결과는 표 3과 같다.

표 3. 예비관측 결과

항목	예비관측결과					총관측수	1일관측횟수	관측대상수	관측일수
	예비관측횟수	주작업수	작업율	여유율	비작업율				
①	120	65	54.17	30.83	15	1,892	40회	2조	24일
②	120	53	44.17	30.83	25	1,266	40회	1조	32일
③	120	50	41.67	50.83	7.5	1,144	40회	1조	29일
④	120	68	56.67	35.83	7.5	2,093	40회	2조	27일
⑤	120	46	38.33	30	31.67	935	40회	1조	24일

예비관측 결과를 근거로 총 관측횟수를 결정하는데 관측횟수 n은 $n=4(1-P)/S^2P$ 의 식을 이용하여 각 작업별로 산출하였다. 여기서 모평균은 지연율(여유율+비작업율)을 나타내고, 상대오차는 5%이다.

3.4 관측자료의 검증 및 분석

1) 관측자료의 검증

5개 세부항목들에 대해서 워크샘플링을 실시하였다. 관측자료의 신뢰도 검증을 위해 P관리도를 작성하였다. 그중 벽유로품 설치작업의 P관리도는 그림 2와 같다.

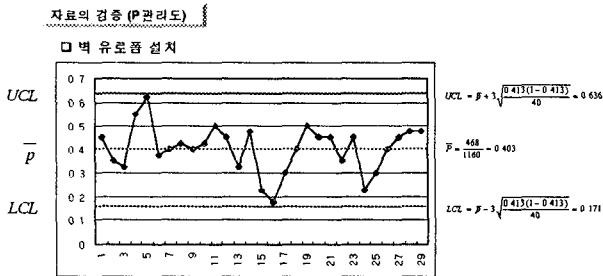


그림 2 벽유로품 설치작업 관측자료 3차검증

관리한계를 벗어나는 자료는 관측자 오류로 판단되어 추가관측을 실시하였다. 그 결과는 표 4와 같다.

관측결과표에 나타난 바와 같이 유로품 하부수평작업에 여유율이 38.6%로 높게 나타났고, 슬래브거푸집에 비작업율이 17.2%로 높게 나타났다.

표 4 워크샘플링 관측결과

관정명	총관측횟수	주작업수	인정하는지연수	인정하지 않는지연수	작업율(%)	여유율(%)	비작업율(%)
①	1,920	1,226	534	120	65.9	27.8	6.3
②	1,280	700	494	86	54.7	38.6	6.7
③	1,160	692	273	195	59.7	23.5	16.8
④	2,120	1,157	761	202	54.6	35.9	9.5
⑤	1,000	543	285	172	54.3	28.5	17.2

표 5는 관측자료의 세부항목별 보합을 나타낸 것으로, 보합이 높게 나타나는 항목이 작업자가 많은 행동을 보이는 것이다. 유로품 하부수평작업을 예를 들면, 작업자가 보이는 행동의 관측결과는 주작업 54.7%, 현장가공 14.9%, 소운반 17.6%, 공구준비 6.8%, 휴식 4.8% 등이다.

표 5. 세부 항목별 보합

단위 : %

구분	작업	벽매김	하부수	벽유로품	명에·장	슬래브거		
		작업	평작업	설치작업	선작업	푸집작업		
주작업		65.9	54.7	59.7	54.6	54.3		
인정하는지연	준비작업	소운반	13.1	14.7	17.6	25.9	15.6	
		공구준비	6.6	6.8	0	0.8	3	
		도면경토	0.3	0	1.1	0	0	
	작업여유	현장가공	2.2	14.9	4.3	8.1	8.2	
		장비점검	3.8	0	0	0.2	0.2	
	직장여유	송장기입	0	0	0	0	0	
		통신	1.7	2.2	0.5	0.8	1.1	
		청소	0	0	0	0	0.4	
	인정하지 않는지연	생리적현상	휴식	0.2	0	0	0	0
			부재	4.6	4.8	9.8	6.4	8.1
인정하지 않는지연	비작업시간	부재	1.6	1.8	6.2	2.4	8.6	
		잠담	0.1	0.1	0	0.2	0.5	
		자재미확	0	0	0.8	0.6	0	
		지각	0	0	0	0	0	
		정전	0	0	0	0	0	
		기상이변	0	0	0	0	0	
		휴식	4.6	4.8	9.8	6.4	8.1	

2) 관측자료의 분석

표 5에서 나타난 바와 같이 지연요인 가운데 각 공정별로 보합이 높게 나타나는 항목을 발견할 수 있다. 보합이 높게 나타나는 항목은 해당공정의 수행에 큰 영향을 미치고 생산성 향상을 위한 주요항목이 된다. 이러한 항목은 개선의 여지가 많고 이를 개선할 경우 생산성향상을 이룰 수 있다. 본 논문에서는 이를 중점관리항목으로 정의하였고, 이에 대한 개선방향은 표 6과 같이 제시한다.

표 6 관측자료의 분석 및 개선방향

공정명	중점관리항목	보합(%)	개선방향
벽매김	소운반	13.1	· 설치단순화를 위한 유닛화
	공구준비	6.6	· 장비자동화 및 기계화, 공구간소화
	휴식	4.6	· 선행작업관리
하부수평작업	현장가공	14.9	· 설치단순화를 위한 유닛화, 레벨마크
	소운반	14.7	· 설치단순화, 자재유닛화
	휴식	4.8	· 적재적소 공급
벽체유로품작업	소운반	17.6	· 자재경량화, 자재모듈화, 공장가공화
	휴식	9.8	· 공정의 시스템화
	부재	6.2	· 현장작업계획수립
명에·장선작업	소운반	25.9	· 적재적소 자재공급 및 자재경량화
	현장가공	8.1	· 공장가공화
	휴식	6.4	· 적절한 휴식은 필요
슬래브거푸집작업	소운반	15.6	· 운반동선최소화, 운반에 용이한 모듈
	부재	8.6	· 현장작업계획 수립
	현장가공	8.2	· 고전용화

4. 개선방안

본 논문에서는 거푸집공사에서 나타난 설치단순화를 위한 유닛화 및 기계화 방안으로 키커 타설용거푸집 유닛(키커폼:kicker form)을 제시한다. 일반적으로 키커(kicker)라 함은 벽 또는 기둥과 같은 수직 구조물이 설치되어질 위치에 수직구조물의 형상에 맞추어 미리 일정높이 만큼 콘크리트를 타설하여 슬래브 상부에 형성되는 턱을 말하는 것이다. 키커를 설치하게 되면 다음과 같은 장점을 가진다.

첫째, 구조적으로 취약한 슬래브와 벽 구조체와의 연결부위가 일체적인 콘크리트로 형성되기 때문에 구조적으로 안정적이다. 특히, 이러한 연결부위는 방수공사에 있어 중요한 부위이며 상기부위의 일체성이 유지됨으로써 방수성능 확보에 유리한 효과를 가진다.

둘째, 시공용 거푸집설치를 위한 마킹작업과 거푸집하부 수평작업이 불필요하게 된다. 즉, 키커가 상부기둥 또는 벽체용 거푸집의 설치위치를 표시해 주게 되므로 거푸집 작업시에는 상기 키커의 측면을 따라 거푸집을 설치하기만 하면 되는 것이다.

셋째, 키커 타설용 거푸집설치는 타설높이를 설정하는 레벨마커 역할을 하므로 바닥평활도를 유지할 수 있다.

넷째, 슬래브의 상면과 키커의 상면과는 단차가 형성되어 있으므로 거푸집내부 및 콘크리트 이음부(시공줄눈)의 청소를 확실히 하여 종합적 시공품질을 향상시킬 수 있다.

다섯째, 슬래브 콘크리트의 타설시 콘크리트의 타설압에 의해 이러한 내민철근의 위치가 변동되게 된다. 이로써 수직구조물의 적정 피복두께가 확보되지 않거나 심한 경우 거푸집 설치가 곤란할 경우가 빈번하게 발생한다. 키커폼의 설치시 콘크리트 타설 시에 내민철근의 위치변동을 미리 잡아줌으로써 위와 같은 문제를 해결할 수 있다.

그림 3은 연구에서 개발된 +자형 벽체 키커폼이다

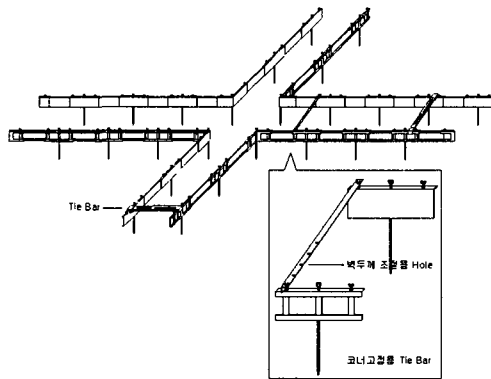


그림 3 +자형 벽 키커폼

이와 같이 키커를 설치하면 많은 이점이 있음에도 불구하고 현재 키커를 시공하는 현장은 거의 전무한 실정이다. 그 이유는 키커폼의 설치에 들어가는 시간 및 노력이 상당할 뿐만 아니라, 특히 키커 거푸집의 설치는 작업난의도가 높기 때문에 그 부담이 더해지게 된다.

또한, 이러한 키커 거푸집은 1회 사용 후에는 재사용을 하지 않기 때문에 비경제적이다. 따라서, 본 논문에서는 설치 및 해체가 용이하며 경제적인 키커폼(kicker form)을 거푸집공사의 공법개선방안으로 제시한다.

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 과학적인 분석기법에 의해 기존 벽식구조 거푸집공사의 문제점을 개선하고자 워크샘플링 기법을 활용하여 기존 생산성을 분석하였다. 각각의 소공정별로 많은 개선의 여지가 있는 것으로 조사되었고, 중점관리항목을 개선할 경우 단위작업은 물론 전체 거푸집공사에 대한 생산성향상과 품질향상이 기대된다. 제시된 개선방안에 따르면, 거푸집공사의 시공단순화를 위한 유닛화 및 기계화 방안은 키커폼으로 시공 시 기대효과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 수직구조재(벽)의 시공줄눈 부위의 품질이 향상된다.
- 2) 부재의 크기에 따라 길이의 변동이 용이하다.
- 3) 조립, 설치 및 해체가 신속하며 전용성이 매우 높다.
- 4) 콘크리트 타설 시 레벨마크의 기능을 한다.
- 5) 바닥타설 두께에 따라 높이조절을 할 수 있다.
- 6) 수직구조재(벽) 거푸집의 시공정밀도, 생산성, 시공성, 경제성을 향상시킨다.

본 논문에서는 벽식구조 거푸집공사의 품질 및 생산성향상을 위한 유닛화 공법개선안과 개선안을 도출하기 위한 방법론을 제시하였다. 향후 거푸집의 자재경량화 및 모듈화, 고전용화에 관한 연구도 계속 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설산업연구원, 건설관리 및 경영, 보성각, 1997.1
2. 신성현, 1986, 워크샘플링 기법에 의한 작업측정에 관한 연구, 인하대학교 경영대학원 석사학위 논문
3. 윤명오, 1997, 벽식 콘크리트용 거푸집의 성능개선을 위한 실험적연구, 대한건축학회논문집 v.13.n.2
4. 김태희, 2000, 데크플레이트 바닥판공법의 시공성 평가, 경희대학교 대학원 석사학위 논문

Abstract

In the bearing wall systems, a form work has a lot of room that saves cost because it takes a substantial proportion of construction cost. Therefore the systemic and efficient methods are required in the form work. This study focuses on methods that enhance the quality and the productivity of form work and presents the kicker form as an alternative plan to simplify the form work through being modular and automatical it. Work sampling method is used for productivity measurement. It is expected that it will reduce the work process and improve the quality and the podructivity of construction.

Keywords : form work, productivity, quality, work sampling, kick form, construction method