

초고층 공동주택 RC 공사의 생산성 및 타워크레인 가동율 분석

권지훈¹ · 허영기^{2*}

¹포스코 건설 과장 · ²부산대학교 건축공학과 교수

Productivity Analysis of Reinforced Concrete Works and Tower Crane Working Ratio for High-rise Apartment Buildings

Kwon, Jihun¹, Huh, Youngki^{2*}

¹Manager, POSCO E&C

²Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University

Abstract : The productivity of rebar-work and form-work was analyzed with data collected from an actual high-rise construction project, and the actual utilization rates of three tower cranes were also investigated. It was found that the average productivity of the form-work increased from 12.00~8.71(m³/man · day) in the underground and above-ground/lower-floor to 11.94~20.73(m³/man · day) in the standard floor. Comparing the productivity of core area to outer, the former was found to be about 11% higher. Moreover, the rebar-work productivity of the outer area(1.12 ton/man · day) was approximately 9.6% higher than that of the core area for the standard floor. The average utilization rates of three TC were surveyed to be about 63.49%, and it was revealed that rainy weather(6.1%), strong winds(6.1%), holidays(17.8%), TC lifting work(5.8%), and other failures and repairs(0.07%) were the causes of non-operation. These research results are expected to be beneficial data in planning and managing the process of high-rise RC construction works in the future.

Keywords : Productivity, High-rise Building, RC Work, Tower Crane Utilization Rate, Factor

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 건설 산업은 막대한 자본의 투입과 건설 기술력이 비약적으로 증가함에 따라 건축물들이 고층화, 대형화 되고 있으며 각국 또는 각 기업 간의 초고층 건축 기술에 관한 경쟁이 치열해지고 있다. 초고층 건설 공사 중 가장 중요한 골조를 이루는 철근 콘크리트 공사의 철저한 공사 계획과 효율적인 공정 및 시공 관리가 초고층 건설의 성패를 결정한다고 볼 수 있다. 그 동안 국내 초고층 철근 콘크리트 공사는 객관적인 데이터에 의한 관리보다는 단순 과거 시공 실적과 경험에 의존한 공정 및 시공 관리에 의존해 왔던 것이 현실

이다. 이에 철근 콘크리트 공사의 현장 생산성에 대한 객관적인 자료 분석과 연구가 축적되어야 향후 더 나은 초고층 건설의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구는 초고층 건설 공사 중 전체 공기에서의 비중이 가장 높은 공종인 골조 공사를 대상으로 철근, 형틀 작업의 생산성과 타워 크레인(Tower Crane; TC)의 실질적인 가동률을 분석하여 향후 초고층 골조 공사의 공정을 계획하고 관리함에 있어 유용한 자료를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구는 P광역시에서 건설된 특정사업의 초고층 건축공사 중 철근 콘크리트 작업의 단위공종인 철근 및 형틀작업의 현장 생산성 측정과 분석, 그리고 TC 가동률 분석으로 그 범위를 한정하였다. 또한 전문가 인터뷰 및 설문조사를 통해 생산성 영향 요소 및 그 중요도를 분석하였으며, 구체적인 연구의 진행 방법은 다음과 같다.

- 사전조사로 초고층 건축공사의 생산성에 관한 기존 문

* **Corresponding author:** Huh, Youngki, Department of Architectural Engineering, Pusan National University, 2, Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Rep. of KOREA

E-mail: ykhu@pusan.ac.kr

Received November 10, 2020; revised -

accepted November 23, 2020

현을 조사하였고, 생산성 측정대상 작업인 철근과 형틀 공종의 생산성 측정 단위를 정의하였다.

- 철근과 형틀작업의 생산성에 영향을 미칠 것으로 판단되는 영향요소들인 층수, 평면, 면적, 물량 등을 도출하고 자료를 수집하였다.
- 단위 공종별 층별 및 일별 물량과 인원투입 자료를 조사하여 인·일당 생산성을 산출하였다.
- 연구대상 사업의 골조공기 중에 TC의 가동일과 비가동일을 실제작업일보를 정리하고 분석하였다.
- 대상사업의 철근 콘크리트 공사에 참여한 관리자와 작업자들을 대상으로 인터뷰 및 설문 조사를 실시하여 실제 참여자의 생산성의 중요도 및 영향요인을 정리, 분석하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 문헌 연구

국내의 생산성 관련 연구들을 살펴보면, 김예상(1994)은 ‘건설 생산성에 영향을 미치는 요인분석에 관한 연구’를 통해 국내 건설 산업의 생산성 개념을 고찰하였고 생산성에 영향을 미치는 요인 분석을 통해 생산성 향상 방안을 제시하였다. 건설 생산성에 영향을 미치는 요인을 향상 요인과 저해 요인으로 분류하고 다섯 가지의 대분류로 정의하였다.

초고층 골조 공사의 거푸집 생산성과 관련하여 ‘초고층 골조공사의 바다 거푸집별 생산성 분석(김태훈 외, 2007)’에서는 초고층 현장의 바다 거푸집별 사례조사와 생산성을 측정하고 분석하였다. 초고층 골조공사 기준층을 층당 3일 공정으로 시공한 현장의 바다 거푸집별 작업자 생산성 및 적용성을 비교 분석하여 제시함으로써, 향후 유사 프로젝트의 합리적인 골조공사 공정계획 수립에 기여하고자 하였다.

‘초고층 프로젝트 RC공사의 주요 공정관리 요소에 대한 공사 주체별 중요도 분석(이경준 외, 2011)’에서는 초고층 RC공사에서 주요 공정관리 요소를 도출하고 중요도를 분석하였다. 설문조사를 통한 초고층 RC 공사에서의 중요도 분석 결과 종합건설업은 시공계획을, 전문건설업은 환경 및 작업관리 등을 중요하게 인식했지만 콘크리트 공사에서는 초고층 공사의 특징에 맞게 두 공사 주체 모두 장비 관리 계획을 가장 중요하게 인식하고 있는 것을 밝혔다.

장지선(2005)은 ‘초고층 골조공사 생산성 향상을 위한 작업 프로세스 개선’에서 골조 공사 작업 프로세스를 분석하고 철근 선조립을 통한 골조공사의 공기 단축 및 공사비를 절감할 수 있는 방안을 제시하였으며 실질적이고 세부적인 연구를 수행하여 골조 공사의 생산성을 더욱 향상시킬 수 있는 현실적인 방안을 제시하였다.

이러한 기존 문헌연구를 통해 초고층 RC (Reinforced Concrete) 골조공사의 중요도를 인지하고 본 연구에서는 실제 현장에서 연구자가 직접 수집한 자료를 바탕으로 초고층 골조공사의 철근 및 형틀 작업의 생산성을 측정하고 이에 영향을 주는 TC 가동률을 조사하여 분석하였고, 직접 공사에 참여한 관리자와 작업자의 인터뷰 및 설문조사를 근거로 초고층 골조공사의 중요 요소 및 중요도를 도출하였다.

2.2 RC공사의 생산성

2.2.1 생산성의 정의

생산성은 생산 활동의 효율성을 판단하는 척도로서, 기본적인 개념은 투입량과 산출된 생산량의 비율로 정의된다.

건설 현장의 생산성 척도는 일반적으로 단위 작업당 작업 투입 인원수에 대한 작업 생산량(물량)으로 정의한다. 본 연구에서도 초고층 RC공사 중 철근작업과 형틀작업의 생산성을 시간(일)에 투입된 인원수 대비 생산량으로 정의하였다.

2.2.2 생산성의 측정단위

생산성을 투입량과 산출물의 비(Ratio)로 나타낼 때, 측정단위에 대한 기준 수립이 중요하다. 본 연구에서는 철근 콘크리트 공사 중 형틀작업에서는 실제 형틀 목공 인·일당 작업 거푸집 물량(면적, m²)을 공사 분할계획(Zoning)별, 층별로 측정하여 생산성을 산출하였다. 또한 철근 작업은 생산량을 철근 작업량(Ton)으로 정의하고 실제 투입 인원 당 철근 일별 작업물량을 공사 분할계획(Zoning)별, 층별로 정리하였다. 따라서 본 연구에서의 철근 콘크리트 공사의 생산성 측정단위는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{형틀 1일 생산성} = \frac{\text{작업량}(m^2)}{\text{작업투입인원} \cdot \text{일(인 \cdot 일)}} \quad (1)$$

$$\text{철근 1일 생산성} = \frac{\text{작업량}(Ton)}{\text{작업투입인원} \cdot \text{일(인 \cdot 일)}} \quad (2)$$

2.2.3 생산성의 영향요인

건설 생산성에 직접 혹은 간접적으로 영향을 미치는 요인들을 철근 콘크리트 공사의 생산성 영향요인이라 할 수 있다. 본 연구에서는 초고층 RC공사의 생산성과 직접적으로 관련성이 많을 것으로 판단되는 요인들을 중심으로 측정하고 분석하고자 하였다. 그 중 철근 공사와 형틀(거푸집)공사의 작업 층수와 코어(Core)부 및 외주부를 주요 영향 요인으로 가정하여 생산성을 측정하고 분석하였다. 자료수집 대상 현장이 코어 선행 공법으로 진행되었으므로 코어부와 외주부로 구분하고, 층별로는 구간을 지하, 지상·저층부, 저, 중, 고, 초고층, 최상층, Belt Truss 인 특이층 등으로 세분하였다. 또한 기상, 휴일, 그리고 파업 및 고장 등의 기타 특이여건들에 따른 TC 가동률을 분석하였다.

3. 자료 수집 및 분석

3.1 연구대상 현장개요

자료수집 대상사업은 P 광역시에 소재한 L 복합개발 신축 현장으로, 초고층 타워동 세 개동 중 최고층인 랜드마크 타워동(101F, 411m)의 생산성 자료를 수집하였다. 자세한 공사 개요는 <Table 1>, <Fig. 1>과 같다.

Table 1. Summary of the project

	Note
Title	P City L Project
Duration	2015. 10 ~ 2019. 11
Size	B 5F / Tower A,B 85F (339m, 333m) / Land mark tower 101F (411m)
Structure System	RC and SRC
Form-work System	Core : Gang Form, AL Form / AL Form(Slab) + ACS Others : Gang Form, AL Form, SKY-Deck(Slab) + RCS
TC	32 Ton 1 ea / 24 Ton 2 ea

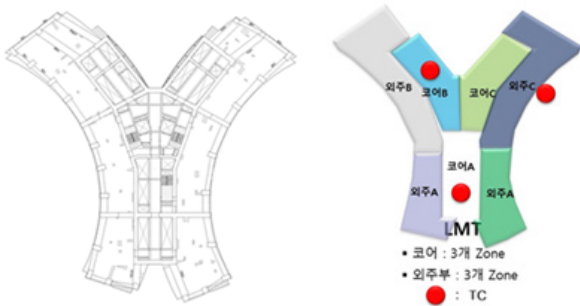


Fig. 1. Plan and zoning of standard floor

작업일보를 기본으로 하여 실제 철근공과 형틀공의 투입 인원에 대한 확인을 통해 자료를 수집하였으며, 철근 및 형틀 작업 물량은 설계 시공도면을 기준으로 층별, 조닝별(코어 및 외주부)로 산출하여 생산성 분석에 사용하였다.

현장조사를 통해 수집한 자료를 정리하여 철근과 형틀 작업의 조닝 및 수직계층별 1일 생산성을 산출하였다. 즉 한 개의 생산성 데이터 값은 각 해당 층/Zone 작업의 1일 평균 투입 인원 대비 작업량을 나타낸다. 이를 통해 각 조닝별, 수직 계층별 구간의 1인·일 생산성을 정리하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다.

TC 가동률은 실제 가동일과 비가동일(우천, 강풍, 기타 사유)로 구분하여 월별 일수 대비 TC 가동일을 정리하여 가동률을 분석, 정리하였다. 타워동에 사용한 TC 3대의 각각의 가동률을 정리한 후 전체 평균으로 나눈 자료로 정리하였으며 운전원의 비가동(휴무, 파업, 기상)과 가동 추가(운전원의 연장,야간작업 등의 가산)의 증감을 모두 반영하여 정리하였다.

마지막으로 전문가 인터뷰 및 설문 조사를 실시하여 공사에 참여했던 관리자와 근로자의 초고층 철근 콘크리트 공사의 생산성 영향 요인을 도출하고 중요도 순으로 분석하였다. 설문은 골조 공사의 각 해당 항목에 대하여 중요도 순으로 높은 점수를 주도록 하여 1점~5점 리커트 척도(Likert Scale) 조사를 실시하였다.

4. 초고층 RC공사의 생산성 분석

4.1 형틀작업 생산성

대상 현장은 코어 선행으로 RC공사가 진행되어 코어와 외주부 공사의 한개 층 완료 시점이 차이가 발생되므로 두개 구역(코어, 외주부)으로 분리하여 지하에서 최고층까지 수직 층별 생산성 자료를 분석하였다.

코어부위의 형틀 작업 생산성을 살펴보면 <Table 2>에서와 같이 95% 신뢰구간에서 두 집단 간의 유의확률(0.00)이 유의수준(0.05)보다 낮아 생산성의 차이가 없다는 가설을 기각하고 각 층의 구간별로 생산성의 차이가 있다는 결론을 내릴 수 있다.

Table 2. Result of Core formwork productivity ANOVA

	Formwork productivity (m ³ /man·day)				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2586.132	8	323.267	18.425	.000
Within Groups	1666.775	95	17.545		
Total	4252.907	103			

각 층의 구간 간 코어 형틀 생산성에 대한 통계분석 결과는 <Table 3>과 같이 나타났다. 코어부위의 형틀 작업 생산성을 살펴보면, 지하(B1~B5F)구간과 지상·저층부(1~7F)구간에서는 평균 12.00~8.71(m³/인·일)로 생산성이 비교적 저조하다가 기준층 구간(8~75F)으로 진행될수록 11.94~20.73(m³/인·일)로 작업 생산성이 향상되는 것을 알 수 있다. 이는 지상 및 저층부 구간(1~7F)은 높은 층고(H=5.0~8.0m)로 인한 안전등의 작업난이도가 높은 점과 합판, 유로폼, 시스템 서포트 등을 사용하는 재래식 공법에 따른 시공성 저하로 생산성이 상대적으로 낮은 것으로 판단된다. 반면 기준층인 8F 이상(H=3.5~3.6m)으로 골조 공사가 진행되면서 같은 형태의 반복된 거푸집 작업과 갱폼, 알루미늄 폼, ACS (Auto Climbing System)폼을 사용하는 등의 안정된 작업으로 인해 생산성이 월등히 향상됨을 알 수 있다.

그러나 78F 이상의 고층부(78~94F)와 최고층부(97~101F)로 진행될수록 생산성은 16.75~5.51(m³/인·일)로 기준층 대비 생산성이 저하된다. 이는 78F, 97F에서 평면 및

Table 3. Statistic summary of Core formwork productivity

Formwork Productivity (m³/man-day)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95%		Min.	Max.
					Low	High		
Core B5~B1	5	12.00	5.94154	2.65714	4.6266	19.3814	6.32	21.14
Core 1F~7F	7	8.71	1.51060	.57095	7.3201	10.1142	6.53	10.16
Core 8F~19F	12	11.94	2.24915	.64927	10.5193	13.3774	9.76	17.22
Core 22~47F	26	20.34	4.90796	.96253	18.3611	22.3258	8.78	28.34
Core 50~75F	26	20.73	5.28024	1.03554	18.6015	22.8670	11.88	30.72
Core 78~94F	17	16.75	2.68263	.65063	15.3778	18.1363	12.23	22.43
Core 97~101F	5	5.51	.69673	.31159	4.6509	6.3811	4.57	6.34
PH1~PH2	2	4.00	.98288	.69500	-4.8258	12.8358	3.31	4.70
Core Belt all	4	13.08	3.60332	1.80166	7.3488	18.8162	9.00	16.39
Total	104	16.39	6.42576	.63010	15.1468	17.6461	3.31	30.72

Table 4. Result of Not-core formwork productivity ANOVA

Formwork productivity (m³/man-day)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2986.508	6	310.620	24.899	.000
Within Groups	1122.786	90	12.475		
Total	2986.508	96			

입면이 셋백(Setback) 되어 ACS를 포함한 전체적인 거푸집의 수정작업이 이루어 졌으며 초고층 부위의 비교적 협소한 작업 공간과 TC 양중 부담 등에 기인한 것으로 판단된다. 또한 BELT TRUSS층들인 20~21F, 48~49F, 76~77F, 95~96F에서도 거푸집 변화와 높은 층고(2.4~9.6m) 등으로 기준층 대비 형틀 생산성이 감소한 것을 알 수 있다.

외주부위의 형틀 작업 생산성을 살펴보면 <Table 4>에서와 같이 95% 신뢰구간에서 두 집단간의 유의확률(0.00)이 유의 수준(0.05) 보다 낮아 생산성의 차이가 없다는 가설을 기각하고 각 계층별로 생산성에 차이가 있다는 결론을 내릴 수 있다.

외주부 형틀 생산성에 대한 ANOVA 결과는 <Table 5>와 같다. 지하(B1~B5F)구간과 지상·저층부(1~7F) 구간에서는 평균 생산성이 6.90~5.52(m³/인·일)로 저조한 양상을 보이다가 기준층 구간(8~75F)으로 진행될수록 11.95~19.37(m³/

인·일)로 형틀작업 생산성이 향상되는 것을 알 수 있다. 그리고 고층부인 78~94F 에서는 16.98(m³/인·일)로 생산성이 다소 하락한 결과를 나타내고 있다. 코어와 달리 외주부는 96F에서 골조작업이 마무리되게 되고 옥탑 크라운 구간(97~101F)의 철골 공사가 시작되므로 최고층부의 골조 생산성은 별도로 분석에 포함하지 않았다. 외주부 중간 특이층(BELT TRUSS층, 20~21F, 48~49F, 76~77F, 95~96F)에서는 기준층 대비 거푸집 변화가 많이 생기고 층고(2.4~9.6M)가 높아지는 이유 등으로 생산성이 코어작업과 비교해도 많이 감소한 것으로 나타났다(코어:13.08m³/인·일; 외주부:7.25 m³/인·일).

초고층 형틀(거푸집) 공사의 자료 분석결과 본 현장 사례 분석으로 모든 초고층 골조 공사에 적용할 수는 없겠지만 지하·저층부 및 골조 거푸집 형태 변화층, 특이층(BELT TRUSS층), 층고 변화층 등을 기점으로 형틀 생산성이 저하되는 모습을 보이고 있으므로 거푸집 계획 및 시공 관리, 안전 관리의 사전 검토가 매우 중요할 것으로 판단된다.

4.2 철근 공사 생산성

코어부위의 철근 작업 생산성은 95% 신뢰구간에서 두 집단 간의 유의확률(0.00)이 유의수준(0.05)보다 낮아 생산성의 차이가 없다는 가설을 기각하고 각 계층별로 생산성

Table 5. Statistic summary of Not-core formwork productivity

Formwork Productivity (m³/man-day)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95%		Min.	Max.
					Low	High		
Not-core B5~B1	5	6.90	.68935	.30829	6.0441	7.7559	6.31	7.99
Not-core 1F~7F	7	5.52	.53980	.20402	5.0222	6.0207	4.57	6.26
Not-core 8F~19F	12	11.95	2.73638	.78993	10.2114	13.6886	6.09	16.85
Not-core 22~47F	26	14.35	3.41050	.66885	12.9790	15.7341	6.08	19.94
Not-core 50~75F	26	19.37	4.05338	.79493	17.7336	21.0080	6.88	25.14
Not-core 78~94F	17	16.98	4.53546	1.10001	14.6557	19.3196	6.96	22.88
Not-Core Belt Wall	4	7.25	1.42714	.71357	4.9791	9.5209	5.70	8.95
Total	97	14.54	5.57759	.56632	13.4248	15.6731	4.57	25.14

Table 6. Statistic summary of Core rebarwork productivity

Rebarwork Productivity (ton/man-day)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95%		Min.	Max.
					Low	High		
Core B5~B1	5	1.00	.14639	.06547	.8242	1.1878	.84	1.16
Core 1F~7F	7	1.16	.15225	.05755	1.0206	1.3022	.97	1.41
Core 8F~19F	12	1.24	.44135	.12741	.9662	1.5271	.80	2.24
Core 22~47F	26	1.25	.23667	.04642	1.1559	1.3471	.78	1.70
Core 50~75F	26	.91	.11744	.02303	.8664	.9613	.71	1.11
Core 78~94F	17	.66	.10095	.02448	.6063	.7101	.45	.80
Core 97~101F	5	.42	.07635	.03415	.3212	.5108	.29	.48
Core Belt all	4	.98	.31753	.15876	.4772	1.4878	.64	1.30
Total	102	.99	.33066	.03274	.9313	1.0612	.29	2.24

Table 7. Result of Not-core rebarwork productivity ANOVA

rebarwork productivity (t/m²/man-day)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.660	7	.809	18.084	.000
Within Groups	4.203	94	.045		
Total	9.863	101			

에 차이가 있다는 결론이 도출되었다. 구간별로 살펴보면 지하(B1~B5F)구간과 지상·저층부(1~7F) 구간에서는 1.00~1.16(ton/인·일)의 생산성을 보이고 있다(Table 6). 기준층 구간(8~94F)은 8~47F에서 1.24~1.25(ton/인·일)로 생산성이 가파르게 상승하다가 50~94F 구간에서 0.91~0.65(ton/인·일)로 하락하는 결과가 나타난다. 이후 최고층부(97~101F)로 진행될수록 0.41(ton/인·일)로 철근 생산성이 급격히 감소하게 된다. 이는 고층화가 진행될수록 철근 양중 및 대기 시간 과다, 철근 작업 공간 협소, 단부 발생의 안전상 작업 난이 등으로 철근 생산성이 저하되는 것으로 판단된다.

외주부의 철근 작업 생산성을 살펴보면 <Table 7>에서와 같이 95% 신뢰구간에서 두 집단 간의 유의확률(0.00)이 유의수준(0.05)보다 낮아 생산성의 차이가 없다는 가설을 기각하고 각 계층별로 생산성에 차이가 있다는 결론을 내릴

수 있다. 외주부 철근 생산성에 대한 통계자료는 <Table 8> 같다. 지하(B1~B5F) 구간과 지상·저층부(1~7F) 구간에서는 0.56~0.58 ton/인·일로 코어 대비하여도 철근 생산성이 급격히 낮음을 알 수 있다.

이는 코어 선행 공법에 따라 외주부의 공정 대기시간 증가, 코어와 외주부 주변 접합부 처리, 저층부의 높은 층고 등의 시공 및 안전상의 어려움 등으로 철근 생산성이 저하되는 것으로 판단된다. 그러나 기준층 구간 8~94F 구간을 살펴보면 8~47F에서 0.85~1.15(ton/인·일)로 생산성이 가파르게 상승하다가 50~75F 구간에서 1.33(ton/인·일)로 정점을 찍고 78~94F 구간에서 1.12(ton/인·일)로 조금 하락하는 결과를 나타내고 있다. 전체적으로 기준층의 철근 생산성은 코어 대비 외주부가 높은 것으로 나타났는데 이는 코어부위와 비교해서 외주부의 작은공간이 넓으며, 코어부의 수직부재 철근작업과 비교해서 외주부의 바닥 슬래브의 작업성이 좋은 것이 주된 요인이다. 특이층에서는 면적 대비 철근 물량은 다소 많지만 철근 생산성이 저하된 경향은 보이지 않음을 알 수 있다.

4.3 타워 크레인 가동률

대상 현장 타워크레인(TC)의 실제적인 가동 일수, 비가동일수, 그리고 비가동 사유 등을 분석하였다. 총 3대의 TC

Table 8. Statistic summary of Not-core rebarwork productivity

Rebarwork Productivity (ton/man-day)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95%		Min.	Max.
					Low	High		
Core B5~B1	5	.566	.04980	.02227	.5042	.6278	.52	.62
Core 1F~7F	7	.587	.13060	.04936	.4664	.7079	.40	.75
Core 8F~19F	12	.850	.16051	.04634	.7480	.9520	.51	1.04
Core 22~47F	26	1.158	.17704	.03472	1.0870	1.2300	.76	1.67
Core 50~75F	26	1.333	.21332	.04183	1.2473	1.4196	.80	1.86
Core 78~94F	17	1.120	.32254	.07823	.9548	1.2864	.54	2.18
Core 97~101F	5	.912	.08468	.03787	.8069	1.0171	.82	1.03
Core Belt all	4	1.040	.25364	.12682	.6364	1.4436	.78	1.30
Total	102	1.075	.31249	.03094	1.0141	1.1369	.40	2.18

각각의 골조공사 기간의 가동 일수와 비가동 일수 등을 파악한 후 가동률을 산출하였고 그 평균을 정리하였다. 월 30일을 기준으로 환산한 ‘월 평균 가동일수’는 19.04(일)로 63.49%의 가동률이 산출되었다. 비가동일의 원인을 분석한 결과, 월 30일 기준으로 우천 1.83일(6.1%), 강풍 1.84일(6.1%), 휴무 5.33일(17.8%), TC 인양작업 1.73일(5.8%), 기타 고장 및 수리 등으로 인해 0.23일(0.07%) 인 것으로 나타났다. 그리고 시간외 추가 작업은 한 달 동안 3.32일(1일 8시간 기준)인 것으로 조사되었다. 초고층 골조 공사에 있어서 RC공사 양중에 미치는 영향이 가장 많으므로 이러한 결과를 참고하여 자재 양중에 대한 시공공정 계획 및 관리가 필요하다.

Table 9. Tower crane utilization rate analysis

		Average per a month (day)	Work day ratio
Nonwork day	Rain	1.83	63.49 %
	Wind	1.84	
	Holiday	5.33	
	Coping	1.73	
	Repair	0.22	
	Strike	0.01	
	Total	10.96	
Work day	Overtime	3.32	
	Normal	15.72	
	Total	19.04	

4.4 생산성 영향 요소

초고층 RC공사의 생산성 향상 및 개선을 위해 실제 연구 대상 사업의 공사에 참여하였던 관리자와 근로자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문지는 총 34부를 배포하고 그 중 30부가 회수되었으며, 유효성 검사를 실시한 후, 전체를 분석에 사용하였다. 설문은 초고층 RC 골조공사의 공정에 영향을 미치는 주요 항목에 대하여 그 영향의 중요도를 1점~7점의 리커트 척도(Likert scale)를 기준으로 응답하도록 하였다.

Table 10. Productivity driver of RC works in high rise apartment construction (survey result)

	Importance Rate					
	1st		2nd		3rd	
	item	grad.	item	grad.	item	grad.
Work item	rebarwork	4.4	formwork	3.7	TC, hoist	3.0
Factor to overall	TC	3.8	weather	3.2	labour	3.0
Factor to formwork	formwork type	4.5	survey	3.8	TC	3.5
Factor to rebarwork	TC	5.4	steel, link beam assembly	4.5	large size rebar (∅)	3.2
Factor to concret	equipment and layout plan	5.2	mix design	4.3	RMC quality	4.1
Factor to temporary work	TC	3.9	lifting plan	3.5	ACS, RCS, GF	3.0

분석 결과, 초고층 골조공사의 작업중에서 철근공사를 가장 중요한 공종으로 인식하는 것으로 나타났고 다음으로 형틀(거푸집)공사, 가설공사 순으로 나타났다(Table 10). 중요 요소로 TC 자재 양중을 가장 중요하게 생각하고 있었고 이어 기후 및 기상 이 두 번째로, 그리고 인력, 숙련공이 다음으로 중요한 요소로 나타났다. 이는 초고층 골조 공사에서 철근 자재 양중에 가장 중요한 요소인 TC 양중 문제와 이와 관련된 기후, 기상 등이 중요한 것을 알 수 있다.

형틀공사의 중요 요소로는 거푸집 계획, 측량, 맥매김, TC 자재양중 순으로 나타났다. 초고층 현장 철근 공사의 공정 중요 요소로는 TC 자재 양중, 철골 LINK BEAM 조립, 대구경 철근(35D이상) 사용 순으로 그 중요도가 조사되었다.

그리고 타설공사는 콘크리트 압송 & 타설 장비 계획과 레미콘 배합설계, 레미콘 품질 순으로 나타났다. 초고층 작업의 특성을 고려할 때 콘크리트 압송 및 타설 속도, 작업성(Workability), 타설 콘크리트의 품질 등이 중요한 것으로 판단된다. 가설 공사는 TC 계획, 건설 리프트 계획, 인양 시스템(ACS, RCS, GF)등의 순으로 중요하게 나타났다. 이는 물적, 인적 자원의 양중, 수송 등의 중요성을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

전반적인 설문 응답을 살펴보면 인력 및 숙련공의 중요도와 TC 및 인양 시스템(ACS), 압송 타설 장비 등과 같은 가설공사의 중요성이 높게 조사된 것이 특징적이다. 이는 갈수록 초고층화 되어 가는 건설 산업에서 나날이 발전되어 가는 기술과 신공법 등에 발맞추어 기능과 기술을 갖추고 있는 양질의 건설 인력이 부족한 현실을 보여주고 있는 것으로 보인다. 또한 초고층화 되어 가는 건설 산업 현장에서 안전하고 생산적이고 효율적인 시공을 할 수 있는 가설공사와 장비의 중요도가 점점 커지고 있다는 사실을 알 수 있다.

5. 결론

초고층 건축 공사는 공정관리가 곧 사업의 성공을 좌우한다 할 수 있으며 특히 RC 골조공사의 시공 및 공정 관리의 중요성은 매우 크다. 본 연구에서는 초고층 골조공사 중 철

근과 형틀 작업의 사례 조사를 통해 현장 생산성 및 생산성 중요 요인에 대해 분석하였으며 결론은 다음과 같다.

첫째, 골조공사 중 코어부위의 형틀작업 생산성은 지하(B1~B5F)구간과 지상·저층부(1~7F) 구간에서는 평균 12.00~8.71(m²/인·일)로 비교적 저조한 생산성을 보이다가 기준층 구간(8~75F)으로 진행될수록 11.94~20.73(m²/인·일)로 형틀 작업 생산성이 향상되는 것으로 분석되었다. 그리고 78F 이상의 고층부(78~94F)와 최고층부(97~101F)에서는 16.75~5.51(m²/인·일)로 평균생산성이 저하되는 것으로 나타났다. 또한 외주부 형틀작업은 지하(B1~B5F)구간과 지상·저층부(1~7F) 구간에서는 평균 생산성 6.90~5.52(m²/인·일)이 기준층 구간(8~75F)으로 진행될수록 11.95~19.37(m²/인·일)로 향상되고 고층부인 78~94F에서는 16.98(m²/인·일)로 생산성이 다소 하락하는 결과가 나타났다.

전반적으로 지하·저층부 및 골조 거푸집 형태 변화층, 특이층(BELT TRUSS), 층고 변화층 등에 따라 생산성의 변동폭이 큰 것으로 분석되었으며 코어와 외주부의 기준층(8~94F) 생산성을 비교해보면 코어 평균 17.44(m²/인·일)과 외주부 평균(15.66 m²/인·일)로 코어 생산성이 약 11% 정도 높은 것으로 나타났다.

코어부위 철근작업의 지하(B1~B5F)구간과 지상·저층부(1~7F) 구간에서는 1.00~1.16(ton/인·일)의 생산성을 보이고 기준층 8~94F 구간은 8~47F에서 1.24~1.25(ton/인·일)로 생산성이 가파르게 상승하다가 50~94F 구간에서 0.91~0.65(ton/인·일)로 하락하는 결과를 알 수 있었다. 이후 최고층부(97~101F)로 초고층화 될수록 생산성은 0.41(ton/인·일)로 급격히 감소한다. 외주부의 경우에는 지하(B1~B5F)구간과 지상·저층부(1~7F)구간에서는 0.56~0.58(ton/인·일)로 코어부위와 대비해도 철근 생산성이 현저히 낮게 나왔다. 또한 기준층인 8~94F 구간에서는 8~47F에서 0.85~1.15(ton/인·일)로 생산성이 상승하고 50~75F 구간에서 1.33(ton/인·일)로 최고 평균 생산성을 보이고 78~94F 구간에서 1.12(ton/인·일)로 조금 하락하는 결과가 나타났다.

전체적으로 기준층의 코어부위 철근작업 생산성(평균 1.02 ton/인·일) 대비 외주부(기준층 평균 1.115 ton/인·일)의 철근 생산성은 대략 9.6% 높은 결과를 나타내고 있는데 이는 코어부위와 비교해서 외주부의 작은공간이 넓으며, 코어부의 수직부재 철근작업과 비교해서 외주부의 바닥 슬래브의 작업성이 좋은 것이 주된 요인이다. 특이층에서는 면적 대비 철근 물량은 다소 많지만 철근 생산성이 저하된 경향은 보이지 않음을 알 수 있었다.

둘째, TC 세 대의 평균 가동률은 63.49%로 나타났다. 비가

동일의 원인으로는 우천 6.1%, 강풍 6.1%, 휴무 17.8%, TC 인상작업 5.8%, 기타 고장 및 수리 등이 0.07% 인 것으로 분석되었다. 우천, 강풍, 휴무, TC 인상작업이 가장 큰 비가동 원인이며 이러한 주된 원인들은 개선의 여지가 거의 불가능함으로 공정계획시에 충분한 고려가 필요하며 시간 외 추가 작업 및 양중 방법 개선 등의 현장 대처방안이 필요할 것이다.

셋째, 초고층 RC공사의 생산성 향상 및 개선을 위해 실제 연구대상 사업의 공사에 참여하였던 관리자와 근로자를 대상으로 설문조사를 실시한 결과, 초고층 골조공사의 작업중에서 철근 공사를 가장 중요한 공종으로 인식하는 것으로 나타났고 다음으로 형틀(거푸집)공사, 가설 공사 순으로 나타났다. 중요 요소로 TC 자재 양중을 가장 중요하게 생각하고 있었고 이어 기후 및 기상이 두 번째로, 그리고 인력, 숙련공이 다음으로 중요한 요소로 나타났다. 이는 초고층 골조 공사에서 철근 자재 양중에 가장 중요한 요소인 TC 양중 문제와 이와 연관된 기후, 기상 등이 중요한 것을 알 수 있었다. 또한 전반적인 설문 응답을 살펴보면 인력 및 숙련공의 중요도와 TC 및 인양 시스템(ACS), 압송 타설 장비 등과 같은 가설 공사의 중요성이 높게 조사되었다. 따라서 TC, ACS, 타설 장비 등 가설공사의 중요성을 인식하고 적절한 TC 배치 계획, 합리적인 가설 장비 배치 계획, 안전하고 작업성 있는 작업 발판, 인양 시스템 등의 시스템적인 대비가 필요할 것으로 사료된다.

본 사례 조사를 통해 초고층 골조 공사의 생산성 향상을 위한 더 많은 생산성 데이터 확보와 사례 조사 및 분석이 추가로 이루어져야 할 것이라고 판단된다. 초고층 공사 실적에 대한 정확한 분석이 이루어지고 축적되어 향후 초고층 골조 생산성 개선이 되길 바라며 초고층 골조 공사의 합리적이고 객관적인 공사 계획이 이루어지길 기대한다. 또한 본 연구에서 조사대상으로 선정한 영향 요소들 외에도 향후 추가적인 요인들을 발굴하여 현장 생산성을 분석하는 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 과정은 부산대학교 연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

References

- Jang, J.S., Shin, Y.S., and Kang, K.I. (2005) "A Work Process for Productivity Improvement of Concrete Structural Frame Work in Tall Building." *Proceedings of the Korea Institute of Building Construction*, pp. 161-164.

- Kim, T.H., Shin, Y.S., Cho, S.S., and Kang, K.I. (2007). "The Productivity Analysis by Slab Formwork of Structural Frame Work in Tall Building Construction - Focused on 3 Day Cycle-." *Proceedings of the Korea Institute of Building Construction*, pp. 115-118.
- Kim, Y.S. (1994). "Analysis of the Factors Influencing Construction Productivity." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 1(10), pp. 65-74.
- Lee, K.J., and Kim, Y.S. (2010). "An Importance Analysis for the Major Schedule Management Factors Classified by Construction Participants in High-rise Building Reinforced Concrete Work." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 26(12), pp. 185-192.
- Son, C.B., and Lee, D.C. (2005). "An Analysis on the Selection and Application of Productivity Improving Factors in Apartment Building Construction." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 21(4), pp. 133-140.
- Son, C.B., and Lee, D.C. (2002). "An Analysis on the Factors Decreasing Productivity of Building Construction." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 18(12), pp. 125-132.
- Son, J.W., Yoon, J.S., and Paek, J.H. (2003). "A Study on Construction Productivity Measurement Method." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 19(10), pp. 101-108.

요약 : 초고층 건설사업의 골조 공사를 대상으로 철근, 형틀 작업의 생산성을 분석하고 타워 크레인(Tower Crane; TC)의 실질적인 가동률을 조사하였다. 코어부의 형틀작업 생산성은 지하 및 지상·저층부(1~7F) 구간에서는 평균 12.0~8.7(m³/인·일)로, 기준층 구간(8~75F)으로 진행될수록 11.9~20.7(m³/인·일)로 생산성이 향상되는 것으로 분석되었다. 코어와 외주부의 기준층 생산성을 비교해보면 코어 생산성이 약 11% 정도 높은 것으로 나타났다. 또한 기준층의 코어부위 철근작업 생산성(평균 1.02 ton/인·일) 대비 외주부(기준층 평균 1.12 ton/인·일)의 생산성은 대략 9.6% 높은 결과가 도출되었다. 또한, TC 세 대의 평균 가동률은 63.49%로 조사되었으며, 비가동일의 원인으로는 우천 6.1%, 강풍 6.1%, 휴무 17.8%, TC 인상작업 5.8%, 기타 고장 및 수리 등이 0.07% 인 것으로 분석되었다. 이러한 연구결과는 향후 초고층 골조 공사의 공정을 계획하고 관리함에 있어 유용한 자료가 될 것으로 기대된다.

키워드 : 초고층 생산성, 철근콘크리트 공사 생산성, 타워 가동율, 생산성 영향요소
