

고층건축공사 타워크레인 양중시간 예측모델

Models for Predicting Hoisting Times of Tower Crane in the High-rise Building Construction

이 종 열*○ 전 용 석** 박 찬 식***
Lee, Jong-Ryoul Jeon, Yong-Seok Park, Chan-Sik

요 약

기존의 양중부하의 계산은 단순히 자재류기·상승·설치·하강의 4단계로 산정한다. 이는 타워크레인의 양중작업과 관련되는 다른 영향요인을 고려하지 못한다는 단점을 내포하고 있다. 이에 본 연구에서는 기존 타워크레인의 양중작업에서 시간을 예측하는데 고려하지 못하였던 많은 요인을 도출하고자 하였으며 이를 통해 타워크레인의 양중작업시 요구되는 양중시간에 대한 예측모델을 구축하였다. 타워크레인의 양중시간을 정확히 예측하기 위해서 양중시간에 영향을 미치는 변수를 자재관련, 타워크레인의 특성, 양중작업관련, 타워크레인 운용 및 기상상황과 관련하여 28개의 다양한 변수들을 식별하였다. 이를 통해 타워크레인의 양중작업 시 요구되는 양중시간에 대한 예측모델을 구축하였다. 타워크레인의 양중시간 예측을 정확히 산정하기 위해 예측모델을 상차양중모델과 하차양중모델로 구분하였고 양중에 미치는 영향요인을 양중대상에 따라 선별하여 다중회귀분석의 과정을 거쳐 그 신뢰도를 높이도록 하였다.

키워드: 양중시간, 다중회귀모델, 고층건축공사

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

산업과 인구의 도시집중으로 인한 공간의 효율적 이용요구가 증가됨에 따라 도심지 주거공간도 건축물의 고층 사무공간이 요구가 되고 도심지의 건설 프로젝트가 점차 고층화, 대형화, 복잡화되면서 공사에 소요되는 자재의 운반이 많아지고 있다. 특히 고층건축공사의 경우 협소한 대지에 고층으로 건물이 올라가므로 타워크레인 양중계획의 중요성이 증대되고 있는 실정이다. 또한 양중계획은 자재, 노무, 장비 등의 물류량을 공정계획에 따라 적재적소에 원활하게 반입하는 것으로서 공사관리의 성패를 좌우할 만큼 그 비중이 높아지고 있다.

그러나 고층건축과 관련되어 가장 중요한 건축공사의 핵심기술인 양중관리에 관한 인식 및 운영방법이 시스템화되지 못하고 있어 공기지연 및 귀중한 자원 낭비가 초래되고 있다. 그 원인으로 건설공사 현장에서 적절한 양중 장비 투입을 위한 체계적인 계획절차의 미비, 실제 공사수행에 대한 예측 부족, 현 공사에

적용하기 부적합한 과거 실적자료, 개인적 경험과 지식의 한계, 기술자료의 부족이 지적되고 있다. 이러한 원인들은 결국 양중계획과 공정간의 오차발생, 운반비용의 상승, 시간의 낭비, 비효율적인 자원의 활용 등과 같은 손실을 발생시키고 있다. 하지만 지금까지 타워크레인의 양중계획과 관련한 대부분의 연구가 타워크레인을 주축으로 한 양중장비의 선정, 최적위치선정 및 배치계획에 관한 연구위주로 연구가 수행되었으며, 양중시간을 체계적으로 예측할 수 있기 위한 연구는 국내에서 거의 수행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 기존 타워크레인의 양중작업에서 시간을 예측하는데 고려하지 못하였던 요인을 도출하고자 하였으며 이를 통해 타워크레인의 양중작업시 요구되는 양중시간에 대한 예측모델을 구축하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

양중장비는 타워크레인, Luffing형 크레인, 리프트 등 다양하지만, 본 연구에서는 아파트공사 15층이상의 건물규모에 설치되는 타워크레인을 연구의 범위로 하였다. 또한 타워크레인의 위치선정 및 장비선정 양중계획 과정에서 중요하지만 모든 타워크레인의 양중계획에서 기본이 되는 양중시간을 대상으로 연구를 수행하고자 한다. 연구의 방법 및 절차는 우선 기 수

* 학생회원, 중앙대학교 건축학과 공학석사

** 학생회원, 중앙대학교 건축학과 박사과정

*** 종신회원, 중앙대학교 건축학과 교수, 공학박사

행된 연구 및 설문조사를 통한 양중계획의 문제점 및 양중시간 영향변수를 선별해내고 이를 바탕으로 타워크레인의 양중시간 예측모델 절차를 제안한다. 예측모델은 독립변수와 종속변수로 구성되는 다중회귀분석의 형태가 된다. 최종적으로 모델에 대한 사례적용으로 타당성을 검증한다.

2. 양중계획의 이론적고찰

2.1 양중부하 산정

양중부하는 양중장비의 대수산정을 위한 판정기준이 되는 결정적 요소임에도 불구하고 양중계획의 초기단계에서 상세한 설계가 갖추어져 있는 경우는 없기 때문에 정확한 양중부하 산출이 곤란하다. 따라서 기준층의 소요 양중시간을 양중 사이클 타임에 양중회수를 곱하여 구한다. 이 절차에서 기준층 당 소요 양중시간이 계획된 골조층 당 공기 내에서 양중이 가능한지를 검토하기 위하여 층당 골조공기를 가정하며, 1일 소요 양중 시간을 평균화, 경감화하면서 양중부하를 판단한다. 양중사이클 시간결정은 과거공사의 실적치 등을 활용하여 결정하게 되며, 1회 양중사이클 타임은 자재묵기·상승·설치·하강작업으로 구성된다. 이때 건물높이에 따라 사이클타임에 영향이 있는지를 고려하며 장비의 성능, 양중속도 등도 고려하도록 한다.

2.2 양중계획의 문제점 및 원인

국내 고층건축공사 현장양중관리를 조사·분석을 통한 결과 다음의 문제점을 얻을 수 있다. 우선 전반적인 양중계획의 문제점은 첫째, 실제공사 수행에 대한 예측 부족, 부적절한 과거 실적 자료, 개인적 경험과 지식의 부족, 연구자료나 기술자료의 부족하다는 것이며, 둘째, 양중실적자료 부족, 양중 매뉴얼 부족, 장비에 대한 자료부족, 양중에 대한 전반적 인식부족, 양중자료의 피드백 의지부족, 공정과 양중간의 연관성이해가 부족하다. 셋째, 양중부하의 산정이 타워크레인의 양중시간을 단순히 자재묵기, 인양, 자재해체, 하강으로 단순히 구분하여 타워크레인의 작업과 관련된 많은 변수를 고려하지 못함으로 인하여 시간외 작업 및 양중장비를 증차를 통해 공기를 조정한다는 것이다.

2.3 국내 기존 연구 및 한계

타워크레인의 양중시간에 대해 데이터를 축적하고 예측을 좀 더 정확하게 하고자 하는 연구들이 지속적으로 이루어져 왔다. 그러나 양중시간에 대한 축적된 자료의 부족으로 인하여 양중계획에 있어서의 리스크는 클 수밖에 없고, 때문에 안정적인 계획을 위해 과대 계획이 이루어지고 있다. 타워크레인 계획을 포함한 양중계획에 있어 양중시간의 예측이 매우 중요하다는 사실을 인식하고 있으나 이를 체계적으로 예측하고 관리를 하는데 있어서는 현재 축적된 데이터의 부족으로 연구에 한계를 보이고 있다. 또한 기존 이 분야의 국내 연구는 타워크레인의 양중시간을 단순한

작업으로 해석하여 양중 사이클 타임을 산정하고 이를 평균화하여 활용하는 연구로만 이루어져 왔다. 이러한 이유로 인해 타워크레인의 양중작업동안 발생하는 많은 요인을 고려하지 못하였고 이를 극복하기 위하여 공사관리 필요한 정확한 양중횟수보다는 최대 양중횟수를 파악하여 적용하고 있는 것이 국내의 현실이다. 따라서 고층건축공사의 양중작업을 효과적으로 관리하기 위해서는 타워크레인 작업 시 영향을 줄 수 있는 변수를 고려하여 양중시간을 예측하는 모델을 보여주고자 한다

3. 타워크레인의 양중시간 예측모델

타워크레인 양중시간을 예측하기 위한 절차의 1단계는 타워크레인 작업 시 고려되는 영향요인의 분석이다. 2단계는 공사유형을 선정하여 대상을 선정한다. 3단계는 Work Sample 등으로 얻어진 자료에 따라 다중회귀분석을 실시하여 회귀식을 산정한다. 4단계는 도출된 회귀식을 실적자료로 활용하도록 하는 모델이다.

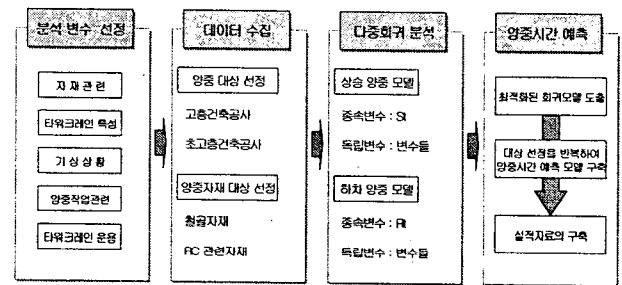


그림 1. 양중시간예측모델의 절차

3.1 양중시간예측 분석변수 선정

양중시간에 영향을 미치는 것으로 고려되는 요소들은 문헌고찰과 설문을 통하여 양중시간 예측에 유용할 변수 28개를 추출하였다¹⁾. 또한 변수들은 양중사이클은 자재의 상차 및 하차로 구분이 되며 그에 요구되는 시간이 다르므로 상차모델과 하차모델의 두 경우로 나누었다.

LP = 타워크레인 중심과 LP(a) 사이의 거리로서
측정된 loading 지점

ULP = 타워크레인 중심과 ULP(b) 사이의 거리
로 측정된 unloading 지점

반경움직임 = LP와 ULP의 절대 거리
(|a - b|)

회전각도 = LP와 ULP사이의 각 [X(θ)]

1) 타워크레인의 양중시간 예측을 위한 변수를 선정함에 있어 1차로 문헌조사를 통하여, 2차로 설문을 통하여 응답자로 하여금 관련 영향변수를 첨부하도록 하였다. 양중시간 예측을 위한 변수의 최종선정은 회귀식의 결과로 관련변수가 선정되기 때문에 이전에 조사된 모든 변수를 고려하였다. 다만 타워크레인에 직접관련이 없는 변수는 임의로 제외하였다.

표 1. 양중시간예측모델의 변수선정

변수	내용
자재관련	자재의 무게(kg), 길이(m), 면적(m ²), 위치
타워크레인 특성	수용능력(ton), 양중속도(m/min), 회전속도(r/min), trolley 속도(m/min)
양중작업 관련	loading 지점, unloading 지점, 반경움직임, 회전각, 높이
타워크레인 운용	크레인사이간섭(단독-0, 2대이상-1), 운영자관찰여부(시야확보-1, 비확보-0), 운영자의 능력, 동시작업, 운영자의 성향, 운영자의 경험, 경력
기상상황	공기온도(°C), 습도 %, 강우(mm), 풍향속력(km/hr)
기타작업	자재물기시간(sec), 풀기시간(sec), 보조기구부착시간(sec), 작업대기

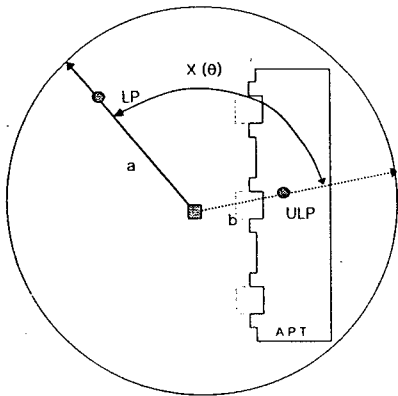


그림 2. 양중작업변수정의

3.2 양중데이터의 수집방법

양중시간모델의 기초적 자료로서 상기 변수들에 대한 Work Sample을 수집한다. 양중 사이클의 과정에서 각 단계별 양중시간측정을 위해 그림 2에서 보는 바와 같이 단계별 시간 구간을 구분하여 측정한다.

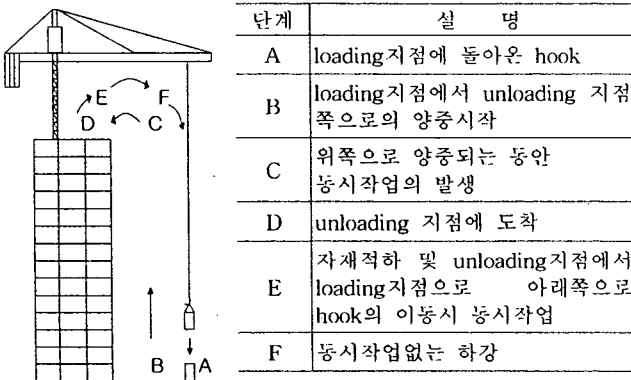


그림 3. 양중시간 측정

각 단계별 양중시간의 측정은 각 단계 위치에서 누적되는 시간으로 측정되어졌고 이에 따라 상차시간과 하차시간은 식 1 및 식 2와 같다.

$$\text{상차시간} (S_T) = T_D - T_B \quad (\text{식 1})$$

$$\text{하차시간} (R_T) = T_A - T_E \quad (\text{식 2})$$

여기서, T_D, T_B, T_A, T_E 는 각 단계 D, B, A, B의 누적시간임

이외의 변수들의 측정값은 Work Sample으로 수집하기 이전에 계산되거나 수집된다. 계산에 의해 측정되는 변수들은 자재의 중량, 자재의 길이, 자재의 면적, 양중높이이며 반경거리는 loading 지점과 unloading 지점의 반지름이 확인되어진 후 계산된다. 타워크레인의 특성들은 제조업자의 기술 매뉴얼에서 그 자료를 수집하고, 운용자의 현장 양중작업 시 관찰여부 및 타워크레인 상호간의 간섭은 현장의 배치 및 건물 계획에서 미리 정해져 있는 것으로 한다. 동시작업은 상차양중과 하차양중 시로 구분이 되었으며 아래 식과 같다. 기상상황은 기상청에서 얻어진 자료를 사용한다.

$$\text{상차시 동시작업비율} = [S_T - (T_C - T_B)] / S_T \quad (\text{식 3})$$

$$\text{하차시 동시작업비율} = [R_T - (T_A - T_E)] / R_T \quad (\text{식 4})$$

3.3 회귀분석

총 28개의 변수들 중 운용자의 작업기술, 능력, 성향, 경험, 경력과 기타작업을²⁾ 제외한 19가지를 독립변수로 선정하였고 이는 표 2와 같다.

표 2. 변수의 구분

모델	종속 변수	독립 변수	
		고려변수	공통변수
상차양중 모델	St	상차동시비율 [$S_T - (T_C - T_B) / S_T$]	자재관련(3개), 타워크레인특성(4개), 양중작업관련(5개), 타워크레인운용(2개)
하차양중 모델	Rt	하차동시비율 [$R_T - (T_A - T_E) / R_T$]	기상상황(4개)

관찰된 19개의 변수들에서 종속변수를 St, Rt로 하고 다른 독립변수들을 결과로 하여 종속변수들과 결과변수 사이의 선형식을 구하고 그 식을 이용하여 원인변수들의 변수값들이 주어졌을 때 결과변수의 변수값을 예측한다.

4. 사례적용

본 도심지 고층건축공사 양중시간 예측모델의 사례검증을 위하여 서울시 동작구 00동에 위치한 S 건설의 아파트 현장조사를 실시하였다. 현장조사의 기간은 2003년 10월 25일부터 2003년 11월 5일까지 진행되었다. 17층~18층 규모의 아파트 공사를 하는 건설회사 중 골조공사를 진행 중인 곳으로 한정하였다. 그리고 본 사례연구는 갱폼 인양 후 이루어지는 철근

2) 자재물기시간, 풀기시간, 보조기구 부착, 작업대기와 같은 기타작업들은 양중작업을 위한 보조작업으로 볼 수 있다. 뿐만 아니라 각 자재별에 따라 요구되는 시간이 다르고 현장마다 기타작업을 위한 조건이 상이한 점으로 본 논문에서는 고려하지 않는다.

의 양중작업을 그 대상으로 하였다.

상차시간과 하차시간을 종속변수로 하고 나머지 18개의 영향요인을 독립변수로 설정하였으며, 현장 측정을 통하여 데이터를 수집하였다. 그리고 회귀모형을 구축하여 식 5 및 식 6과 같은 결과를 얻었다. 표 3과 같은 상차시간에 대한 회귀식에서는 R^2 값이 0.809로 비교적 설명력이 높은 것으로 나타났으며, 상차동시비율, 습도, 회전각, Trolley 속도가 의미있는 것으로 나타났다. 표 4의 하차양중시간에 대한 결과는 R^2 이 0.813으로 나타났으며, 회전각, 습도, 반경움직임, 양중높이 등이 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

표 3. St의 회귀분석 결과

	기울기(B)	표준오차	표준화된 B 값 (Beta)	t 값
상수(Constant)	-60.798	24.414		-2.490
상차동시비율	51.594	17.441	.453	2.958
습도	.972	.232	.496	4.188
회전각	.126	.039	.522	3.269
Trolley 속도	.342	.147	.264	2.326
설명력(결정계수, R^2)	.809			
F비	35.02			

종속변수 : ST (상차시간)

표 4. Rt의 회귀분석결과

	기울기(B)	표준오차	표준화된 B 값 (Beta)	t 값
상수(Constant)	1.816	10.276		.177
회전각	.179	0.022	.809	8.250
습도	1.030	.197	.571	5.239
반경움직임	-.644	.215	-.239	-2.995
양중높이	-.643	.291	-.279	-2.207
설명력(결정계수, R^2)	.813			
F비	35.924			

종속변수 : RT (하차시간)

$$\text{상차양중시간(ST)} = 51.594 \times \text{상차동시비율} + 0.972 \times \text{습도} + 0.126 \times \text{회전각} + 0.342 \times \text{Trolley 속도} - 60.798 \quad (\text{식 5})$$

$$\text{하차양중시간(RT)} = 0.179 \times \text{회전각} + 1.030 \times \text{습도} - 6.44 \times \text{반경움직임} - 0.643 \times \text{양중높이} + 1.816 \quad (\text{식 6})$$

5. 결론

타워크레인의 양중시간을 정확히 예측하기 위해서 양중시간에 영향을 미치는 변수를 자재관련, 타워크레인의 특성, 양중작업관련, 타워크레인 운용 및 기상 상황과 관련하여 28개의 다양한 변수들을 식별하였고, 이를 통해 타워크레인의 양중작업시 요구되는 양중시간에 대한 예측모형을 구축하였다. 타워크레인의 양중시간 예측을 정확히 산정하기 위해 예측모형을 상차양중모델과 하차양중모델로 구분하였고 양중에 미치는 영향요인을 양중대상에 따라 선별하여 다중회귀분석의 과정을 거쳐 그 신뢰도를 높이도록 하였다. 추후 연구에서는 공사대상과 자재의 구분에 대한 지속적인 자료보완과 데이터베이스화가 필요하다.

참고문헌

1. 강경인, 서덕석, 남시대, "고층 건축물의 양중계획 합리화에 관한 연구(1)," 대한건축학회 학술발표논문집, 제16권1호, 1996, pp. 447-450
2. 김정진, 초고층 건축공사의 양중계획 시스템에 관한 연구, 명지대학교 박사학위논문, 2002
3. 안병주, 김재준, "고층건물공사 마감자재 양중계획의 타당성 검토," 대한건축학회논문집 제17권 1호, 2001, pp. 145-156
4. 송인창, 초고층 건축공사 양중계획 프로세스, 중앙대학교 석사학위논문, 1998
5. 장명훈, 영향요소 분석에 의한 초고층 건축공사에 가설 계획 시스템 개발, 서울대학교 박사학위논문, 2002
6. Leung, Arthur W. T. and Tam, C. M., "Models for Assessing Hoisting Times Of Tower Cranes", ASCE, Journal of Construction Engineering & Management, Vol.125, No.6, 1999, pp. 385-391

Abstract

The objective of this study is to develop reasonably accurate prediction models to assess hoisting times of tower cranes in the high-rise building construction. The efficient use of the tower crane is critical to achieving the planned floor cycle time. This research describes the derivation of mathematical models to predict the hoisting times in using a tower crane. 28 factors such as nature of load, characteristics of tower cranes, hoisting movements, operation of cranes, weather conditions and so on is considered to influence hoisting times. In order to develop the predicting hoisting times correctly, it is divided hoisting upward and downward. Then multiple regression models for predicting supply and return hoisting times have been built up separately.

Keywords : Hoisting Time, Multiple Regression Model, High-Rise Building Construction