프로젝트 공사기간과 연계된 극 초고층 타워크레인 최적화 선정에 관한 연구

An Analysis Of Optimized Super Tall Building Tower Crane Selection Which Related With Project Construction Period

조 지 훈* 조 흥 구**
Cho, Ji-Hun Cho, Heung-Goo

Abstract

It is critical to select the appropriate type of tower cranes for the construction of super tall buildings. However the selection is often made based on subjective personal experiences due to the lack of historical and analytical data. As a result, planning mistakes and efficiency errors sometimes occur. This research is to develop a system of hoisting analysis for appropriate tower crane selection and to provide a flexible statistical model based on the Burj Dubai project. In addition, this system hassupporting functions that can estimate the target construction period per floor, and a decision-making construction period computation method which is based on the characteristic of the selected tower cranes.

Keywords : Super Tall Building, Tower Crane, Statistical Model, Prediction & Analysis of Construction Period per Floor

1. 서 론

1.1 연구의 목적

국내외 초고층 건축물 개발은 건물 자체의 경제성을 평가하기 이전에 국가 경제력을 과시하는 랜드 마크 성격이 크다고 볼 수 있다. 또한 건설회사 및 관련 종사자에게는 기술개발 및 연구에 대한 동기 부여를 제공해 주고 있다.

초고층 건축물 시공 시 필요한 요소기술 중 가장 중요한 기술은 양중 기술이며, 특히 수직 물류를 담당하고 있는 타워크레인의 적정성 여부는 전체 프로젝트 공기 준수에 지대한 영향을 준다고 할 수 있다.

초고층 건축물 특성 상 많은 수의 타워크레인 배치에 한계가 있기 때문에 가중되는 양중 부하를 감소하기 위하여 유압을 사용하는 코아 및 기둥 형틀, 철근 선조립 공법, 경량화된 슬래브 형틀 등을 사용하여 층당 공기 단축을 도모하고 있다. 본 연구에서는 Burj Dubai 프로젝트의 실적 자료를 기반으로 층당 공기를 반영한 최적화된 타워크레인을 선정할 수 있는 프로그램을 개발하여 초고층 특성을 반영한 양중 기술력 향상을 목적으로 하고 있다.

* 삼성물산 건설부문 건축기술실 과장, 공학석사, 기술사
** 삼성물산 건설부문 건축기술실 파트장, 기술사
- 08년도 삼성물산 건설부문 기술개발 과제 결과물 일부임
- 09년도 현재 특허 출원 중.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 6시그마 기법을 바탕으로 공정과 연계된 타워크레인 산정 프로세스를 분석한 후 그 결과를 바탕으로 초고층 특성에 맞는 최적화 안을 도출하는 알고리즘을 개발하고 이를 시스템화 하는 것을 연구 범위로 한다.

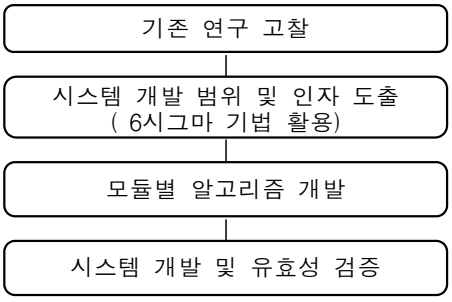

그림 1. 연구 진행 프로세스

2. 기존연구 고찰

2.1 타워크레인 선정 관련 주요 연구 현황

타워크레인 선정에 관련한 기존의 연구는 표 1.과 같이 다양한 통계적 모델을 사용하여 양중 시간을 예측하는 연구와 타워크레인 대수를 산정하는 연구로 크게 구분할 수 있다.

표 1. 타워크레인 선정 관련 주요 연구

분류	연구자	연구내용
타워크레인 양중시간 예측	C.M Tam et al (2002)	선형 모델을 대상으로 타워크레인 양중시간 예측 유효성 검토
	Arthur W.T et al (1999, 2000)	다중회귀 분석을 통해 상승 및 하강 시 영향을 주는 인자 분석
		신경망 이론 및 다중회귀분석을 통한 타워크레인 양중시간 비교
양중 시스템 개발	김정진 외 2인 (2005)	타워크레인 부하 및 대수를 산정하는 시스템 개발
양중 프로세스 개발	이현수 외 2인 (2002)	타워크레인 계획 시 대안 및 평가 프로세스 개발
양중계획 합리화	강경인 외 2인 (1996)	3개 현장을 대상으로 타워크레인 위치 선정 프로그램 및 시뮬레이션

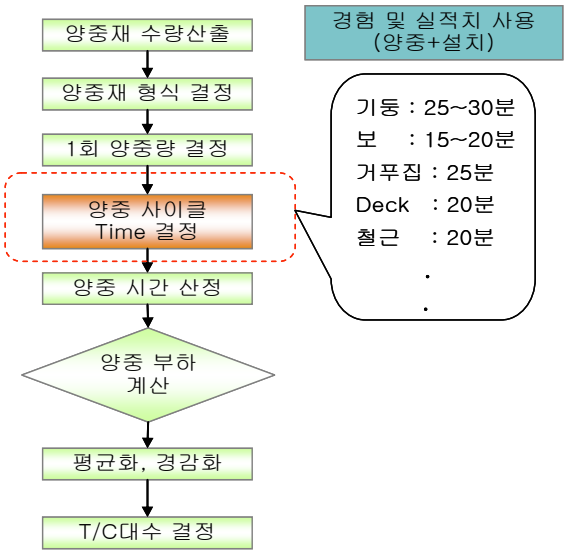

그림 2. 타워크레인 대수 산정 프로세스

2.2 기존 연구 분석

타워크레인 선정 및 분석에 관련된 요인들 중에 양중 부재별 단위 사이클 시간 설정의 중요성으로 관련 연구가 많이 있으나 양중 시간의 영향을 크게 받지 않는 중층 높이의 건축물의 자료를 기초로 분석되어 극 초고층[1]에 반영하기에는 미흡한 부분이 많다. 또한 데이터 수집에 대한 연구가 추가로 진행되어야만 활용가치가 큰 통계적 모델을 기반으로 되어 있다는 점이 아쉬운 부분이다.

프로젝트 공기 부분에 있어서는 층별 목표 사이클을 전체 층에 반영하거나 기준층에만 반영하여 분석된 장비가 전체 공기에 어떤 영향을 주고 있는지는 분석할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 선정된 타워크레인에 대한 경제성 부분도 전체 공사 기간 중 장비 사용기간 및 기종을 근간으로 한 비용 분석이 주류를 이루고 있어 최적화된 장비 선정이라고 보기에는 한계가 있다.

그러나 이러한 연구들은 양중 장비 선정 및 프로세스 정의, 주요 영향 인자 분석 등 기반 연구를 수행하여 지속적으로 추진되고 있는 초고층 및 극 초고층 건축물의 양중 분석 연구에 많은 기여를 했다고 할 수 있다.

3. 극 초고층 양중 계획의 문제점

3.1 양중 장비 선정 프로세스

일반적으로 타워크레인 선정을 위한 프로세스는 그림2와 같다. 양중재 수량 산출을 통하여 양중물의 선정 및 1회양 중량을 결정한다.

상승 및 하강 시간을 고려하여 단위 사이클 시간을 결정해야 하는데 주로 경험치 및 중/저층부 실적을 적용한다. 1회 사이클이 정해지면 총 양중 시간을 계산할 수 있으며 층당 목표 공기에 의하여 소요되는 장비 수를 산출하는 프로세스이다. 여기서 문제점은 실적치 또는 경험치를 사용하는 단위 사이클 부분이다. 단위 사이클은 “자재연결+상승시간+하역(설치)+하강시간”으로 구성되는데 건축물의 높이가 높아질수록 상승 및 하강 시간의 증가로 기존의 양중 실적 자료는 가치를 상실하게 된다.

특히 극 초고층 공사에서 골조 공사 공기 단축은 관련 기술 및 자재의 보편화로 인하여 차별화를 두기 어려운 현실에서 그 동안 간과했던 양중 장비 선정 오류로 인한 손실의 중요성은 그 어느 때 보다도 중요하다고 하겠다.

당사가 시공한 타워팰리스 3차 현장(69층)의 기준층 사이클인 3일을 달성하기 위해서는 양중시간 (약 17% 해당)과 설치 시간 및 관련 공종의 작업이 이루어져야 하는데 양중 시간의 증가는 설치 및 작업 시간의 감소로 영향을 주어 목표한 층당공기 준수가 어려워진다.

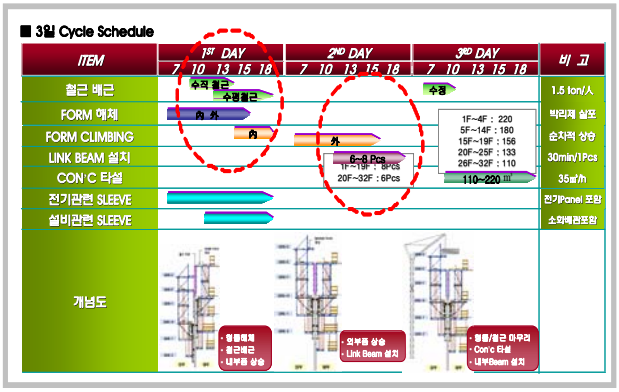

그림 3. 양중 시간 분석

1) The CTBUH defines super-tall as being any building over 300 metres /984 feet. www.ctbuh.org 참고

3.2. 양중 장비의 기계적 시간 증가

건축물의 높이가 높아질수록 모터 속도에 의한 순수 양중 시간은 그림4와 같이 증가하게 된다. 현재 당사가 UAE에 시공하고 있는 Burj Dubai Tower를 기점으로 현재는 1km 이상의 건축물도 계획 중인데 높이에 따른 양중 시간의 증가는 전체 공기 산정 시 양중장비의 영향력을 검토하게 하는 계기가 되었다고 본다.[2)]

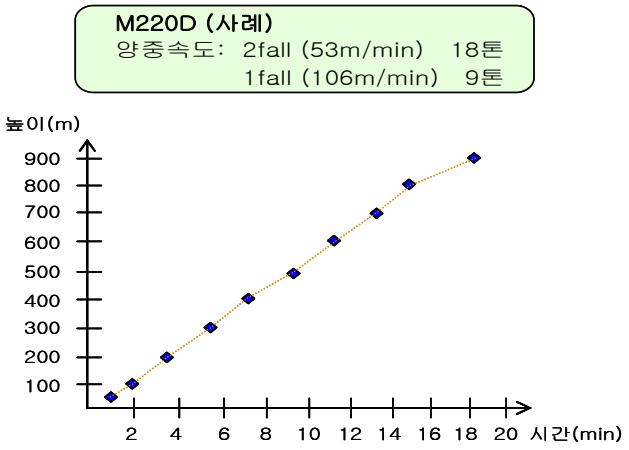

그림 4. 양중 시간 증가 현황

지금까지의 건축물들은 200m~300m 높이로 이러한 문제점들이 작업자의 습숙효과(learning curve)로 인한 생산성 향상으로 문제가 없는 것처럼 느껴지지만 두바이 타워 같이 800m가 넘는 경우 심각하게 공기를 지연시키는 요인이 된다. (단순 기계 양중 속도로만 비교해 보아도 약 4배 정도의 시간이 더 필요한 것을 알 수 있다.)

4. 극 초고층 타워크레인 선정 프로그램 개발

4.1 6시그마 기법을 활용한 개발 인자(factor) 분석

본 연구는 6 시그마 기법 중 DMADV[3)]을 사용하여 프로그램 개발을 진행 하였다. AHP[4)](Analytic Hierarchy Process) 분석을 통하여 개발 방향 및 요구사항 들을 도출하였으며, AHP 분석에서는 정성적인 부분을 누락 시킬 수 있는 가능성이 있기 때문에 추가적으로 QFD[5)](Quality Function Deployment)을 시행하여 개발 범위를 확정하였다. (표1, 표2)

2) 극 초고층에서는 양중 장비를 기반으로 공기를 산정해야 하는 패러다임의 전환이 필요하다.

3) Define-Measure-Analyze-Design-Verify의 단계로서 프로그램 개발 시 활용할 수 있는 6시그마 기법이다.

4) 다수 대안에 대한 다면적 평가 기준을 통한 의사결정 기법.

5) 품질기능 전개로 정성적인 개발 요구 사항들을 반영하여 분석하는 품질 경영 기법.

표2. AHP 분석

양중 사이클 Time 예측	골조 형식별 차별화	양중 사이클 시간실적 보유	층 당 사이클	양중 부재량 산정 방식	단위 작업별 장비 사용	경제적 장비 대수 산출	단순 화된 사용 방법	실적 자료 비교 기능	PICASSO 호환성	기하평균	중요도
골조 형식별 차별화	1	1/2	1/2	1	1/3	1/3	1	1/2	1/3	2.02	0.050
양중 사이클 시간 실적 보유	2	1	1/3	1	1	1/2	1	1/2	1/2	2.98	0.075
층당 사이클	2	3	1	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1/3	3.98	0.101
양중 부재량 산정 방식	1	1	2	1	1/3	1/2	1/2	1	1	3.10	0.078
단위 작업별 장비 사용	3	1	3	3	1	1/3	1	1/2	1/2	5.53	0.138
경제적인 장비대수 산출	3	2	3	2	3	1	1/2	1/3	1/2	6.05	0.151
단순화된 사용방법	1	1	1	2	1	2	1	1/2	1/3	3.66	0.091
실적자료 비교 기능	2	2	2	1	2	3	2	1	1/3	5.58	0.139
Picasso 호환성	3	2	3	1	2	2	3	3	1	7.07	0.177

표3. QFD 분석

◘ 상관관계 및 점수기준 ◉ : Strong (9점) ○ : Moderate (3점) △ : Weak (1점)		Customer Importance	HOWs (Title)					
			골조 형식별 차별화	실적자료 구축	장비 가동률	장비 대수	상호 보완성	호환성
Direction of Improvement								
WHATs (Title)	골조 형식별 차별화된 산출근거가 필요하다	0.050	◉	○				
	양중 사이클 측정 실적이 있어야 한다	0.075	○	◉				
	골조 층당 사이클에 따른 소요 장비 산출이 되어야 한다	0.101	○		◉	○	△	
	수직, 수평 거리를 반영한 양중 시간이 설정되어야 한다	0.078		◉	◉			
	단위작업 (형틀, 철근 등)에 사용되는 장비선정 필요하다.	0.138			◉	○		
	경제적인 장비댓수 산정이 되었으면 한다	0.151				◉		
	전문지식이 없어도 쉽게 사용할수 있어야 한다	0.091	◉					○
	이론값과 실적값을 서로 비교 사용 가능해야 한다	0.139					◉	
	기 개발된 Picasso와 호환성을 가져야 한다	0.177						◉
Weighted Importance			2.60	2.03	2.50	1.31	1.87	1.13
Relative Importance								

QFD분석 결과를 바탕으로 프로그램 기능 대안을 도출하여 요구된 기능 조건을 충족시키는 최적의 컨셉을 개발하였다. 또한 각각의 컨셉에 대하여 Pugh Matrix[6)] 분석을 통하여 최적안의 컨셉과 디자인 요소를 정의 하였다.

선정된 컨셉의 개념도는 그림5와 같다.

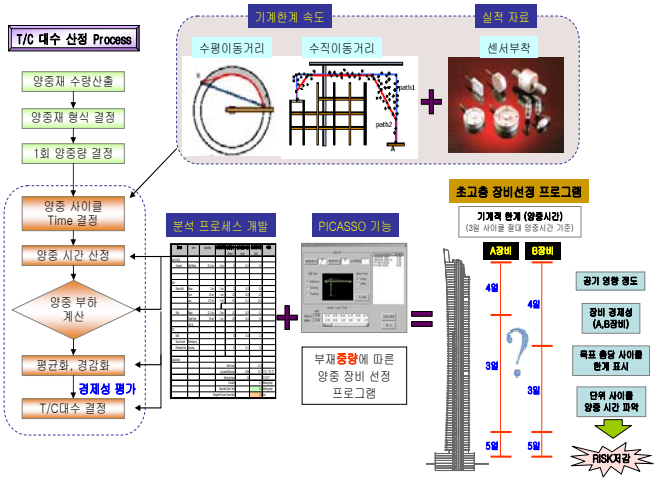

그림 4. High Level Design 선정안

6) 평가 항목별 가중치를 부여하여 최적안을 선정하는 기법

극 초고층의 단위 사이클 정확도 향상을 위하여 센서부착을 통하여 자동적으로 양중 관련 자료가 수집(Burj Dubi 실적) 되며 수집된 자료는 통계적 분석을 통하여 사용자가 정의하는 기준에 대응하는 양중 시간을 산출하게 된다.

산출된 양중 단위 사이클을 기반으로 양중 부하 계산을 하게 되며 공정을 고려한 자원 평준화를 통하여 타워 기종 및 수량을 정하며, 당사에서 기 개발된 PICASSO[7] 프로그램을 연계하여 복수의 기종을 선정한 후에, 전체 공기 및 경제성을 고려하여 각 기종별로 목표 층당 공기의 한계를 분석하여 최적화된 장비를 선정할 수 있게 된다.

4.2 시스템 구현

극 초고층 양중 장비 선정 시스템의 어플리케이션은

Microsoft Visual Studio 2003을 사용하였고 랭귀지는 C#을 이용하여 개발 하였다. 그림5는 로그인 화면으로서 기본 데이터베이스는 사용자 PC에 설치되며 자동 업데이트 및 로그인은 서버를 통해 운영된다.

그림 5. 로그인 화면

개발된 시스템은 프로젝트별로 분류 및 저장이 가능하며 획일적인 WBS(Work Breakdown Structure)제공을 탈피하여 현장별 특성을 반영할 수 있도록 하였다.

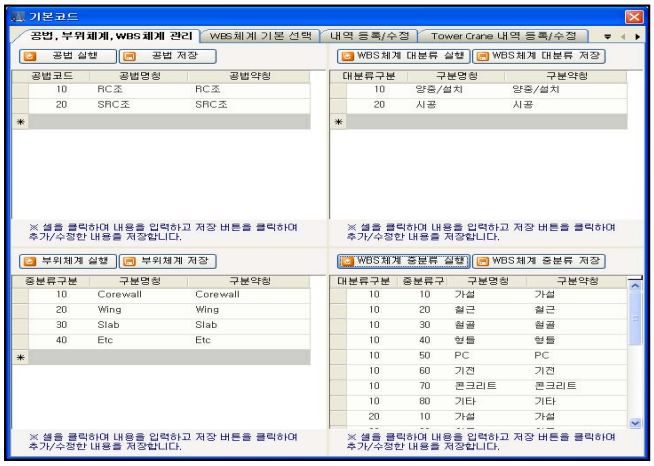

그림 6. WBS 사용자별 정의

프로젝트 현장 데이터 입력 부분은 공법을 비롯하여 건축물의 기본 정보를 입력하도록 하였으며 특히 작업 효율을 입력하도록 하여 국가별, 지역별 특성을 반영할 수 있다. 이는 순 작업 일수(Working Day)를 달력 일수(Calendar Day)로 환산하는 기준으로 활용되어 전체 공기 산정 및 검토 시 보다 더 정확한 결과를 구할 수 있게 된다.

사용자가 입력한 WBS를 기초로 사이클 시간 일수와 작업 시간에 따라 그리드(Grid)와 부위별 탭(Tab)이 자동적으로 생성된다. 단위 사이클은 현장 목표 사이클로서 양중/설치, 시공 부분으로 구분하여 입력한다.

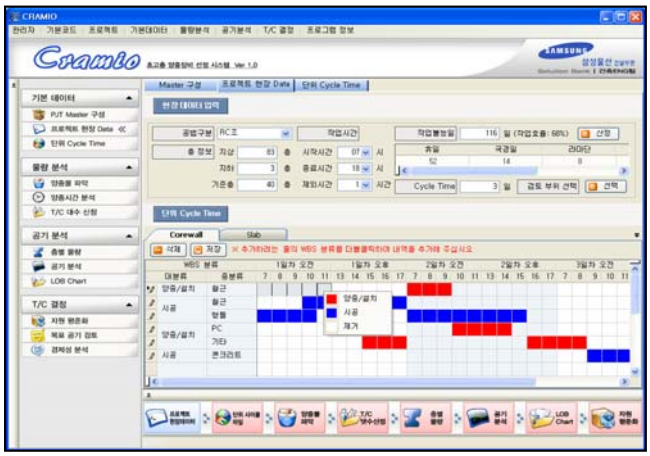

그림 7. 프로젝트 기본 정보 입력 모듈

물량 분석 부분은 프로젝트 기본 정보 시 입력한 부위별 단위 사이클 항목에 추가된 양중 아이템이 자동으로 생성되며 사용자는 양중 단위, 순수 양중 시간을 제외한 설치 시간을 입력한다. 단 1회 양중량은 자동으로 계산된다.

7) 부재 중량에 따른 양중 장비 선정 및 CAD도면 작업이 가능한 프로그램으로 2002년 개발되어 현재 198기종 검토가 가능함.

그림 8. 층당 양중 물량 입력

양중량 분석에서 1회 양중 시 기준이 되는 단위 시간 산정은 경험치를 기반으로 일률적으로 적용하여 사용하는 문제점을 개선하고자 본 연구에서는 당사가 시공 중인 Burj Dubai (높이 800m 이상)프로젝트를 대상으로 양중 실적자료를 수집하였다.

자료 수집은 센서를 부착하여 운전석에서 PDA로 다운로드를 하는 방식으로 수집되었다. 무선 방식을 도입하지 않은 이유는 건물 높이 상승으로 데이터 케이블 관리, 고층에 따른 노이즈 등으로 데이터의 신뢰성이 낮아질 가능성이 있었기 때문이다. 수집되는 항목은 6시그마를 통해 분석된 타워크레인 양중에 영향을 주는 인자(factor)들 중 직접 측정으로 분석되는 자료로 한정 하였다. 수집되는 정보의 종류는 높이, 기온, 풍속, 타워크레인 앵글 각도, 반경 등이며, 특히 앵글 각도와 반경 정보는 야적장 위치 정보를 포함하는 의미가 있어 보다 더 정확한 양중 관련 실적 자료를 수집할 수 있었다.

그림 9. 양중 실적 자료 수집

수집된 실적자료를 바탕으로 층당 양중 부하 계산에 기반이 되는 단위 사이클 예측을 위하여 통계적 기법을 사용하여 다중 회귀식 모델을 개발하였다.

종속변수(단위 사이클 타임)를 예측하기 위해 독립변수가 최소한 2개(양중 높이, 양중 무게) 이상이 사용되기 때문에 다중 회귀 분석을 이용하였다. 다중 회귀 분석은 종속변수와 독립변수들의 구체적인 함수관계를 규명하는 방법으로, 역행렬을 이용하여 회귀식을 도출한다. 역행렬을 구하는 알고리즘은 특정 형태의 행렬(symmetric, orthogonal, tridiagonal)에 적용 가능한 방법과 일반적인 형태의 행렬에 적용 가능한 가우스 조단 소거법(Gauss Jordan Elimination), LDU 분해, Cramer rule 방법 등이 있다. 그 중 가우스 조단 소거법은 선형 대수에서 나오는 방법으로 행렬을 Upper Triangular Matrix 형태로 만들고, 뒤에서 부터 차례대로 근을 구해낸다. 이 방식은 한 줄 한 줄 진행 되어지는 프로그래밍에 적합하기 때문에 개발된 시스템에 적용을 하였다. 따라서 어떤 데이터가 들어와도 행렬로 변환하여 회귀분석을 통해 양중 시간이 예측이 가능하다.

그림 10. 양중 실적 자료 수집

현장 자료 활용에서 수집된 실적자료를 시스템에 Import를 시키면, 가우스 조단 소거법을 이용하여 역행렬을 계산하면 회귀식이 자동으로 도출된다. 그리고 Data 입력을 통해 해당하는 독립변수를 입력하면 단위 사이클 타임을 구할 수가 있다. 함께 계산되어지는 신뢰확률은 회귀분석에 사용되는 결정계수로 전체 자승합에서 회귀 자승합이 차지하는 비율을 나타낸다. (R-Square, $0 \leq R^2 \leq 1$) 이 값은 회귀식이 전체변동을 얼마나 설명해 주는지를 나타내며, 값이 클수록 신뢰할만한 회귀식 임을 의미한다.

통계적 모델을 활용하여 분석된 단위 사이클 시간을 각각 의 양중 대상물에 자동으로 적용하여 전체 양중 부하를 계산해 준다. 장비 가동률이 반영된 총 양중시간을 실 작업 일수(Working Day)와 목표 층당 공기를 반영하여 소요되는 타워 크레인 대수를 산출한다.

기존 연구방식에서는 실적자료를 기반으로 한 양중물 대상별로 그룹핑 한 사이클 시간을 일률적으로 전체 건축물을 동일한 시간을 적용하지만 본 시스템은 사용자가 입력하는 정보를 근간으로 실시간으로 작성되는 회귀모델을 사용하기 때문에 좀 더 정확한 분석 자료를 제공한다.

실제 양중 작업 시 양중 시간에 영향을 주는 요인들이 여러 가지가 존재할 수 있는데 그 중 풍속, 야적장 위치, 양중재의 중량이 가장 큰 영향을 주는 요인이라고 볼 수 있다.

그림 11을 살펴보면 같은 철근 자재이지만 2톤씩 양중되는 번

들(bundle)형식과 0.5톤씩 양중 박스로 운반되는 양중의 단위 사이클은 각각 10.8분과 4.7분으로 차이가 있음을 발견할 수 있다. 이는 타워크레인의 기계적인 특성[8]으로 인한 차이를 잘 분석해 주고 있다는 결과이다.

그림 11. 양중 부하 계산 및 대수 산출

다음은 본 시스템에서 가장 중요한 부분을 차지하는 모듈로써 "과연 내가 목표한 층당 공기를 몇 층까지 어느 장비로 가능할까?" 를 분석해 주는 부분이다.

이러한 분석을 가능하기 위해서는 층당 물량과 층당 공기[9]의 정보가 필요하게 된다.

초기 검토 시 분석할 수 있는 시간의 제약으로 인하여 특히 층별 물량의 경우, 전체층의 정보를 입력한다는 것은 현실적으로 어려움이 있다.

따라서 본 시스템에서는 '물량 예측' 이라는 항목을 만들어 사용자가 지정한 층의 물량을 기반으로 전체 층의 층별, 부위별 물량을 자동으로 산출해 주는 기능을 가지고 있다.

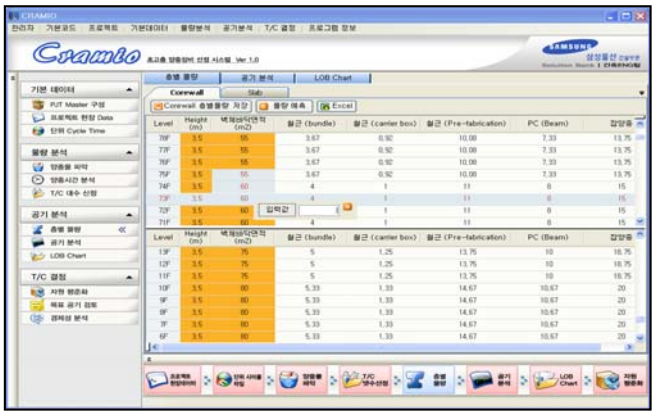

그림 12. 층별 물량 산출

8) 타워크레인은 자동차와 같이 힘이 많이 필요한 경우 저속기어를 사용하다가 고속 기어로 변경되는 특성이 있다.

9) 각층의 목표 공기에는 현장 특성이 반영된 기계실 층, 타워크 레인 상승 기간 등의 요소가 반영되어 있다.

층별 물량은 추후 층별 양중 부하로 계산되어 양중재의 중량에 의한 타워크레인의 선정뿐만 아니라 각층의 목표 공기 준수 여부를 판별하는데 이용된다.

진행 중인 현장이라면 층별로 정확한 물량을 입력하여 좀 더 정확한 결과 분석이 가능하다.

물량 분석과 더불어 진행 되어야 하는 부분은 층별 목표 공기 입력 부분이다. 층별 공기 입력 시 체크 박스에 기계실 또는 타워 상승(Tower Crane Climbing)작업이 시행되는 층을 체크해 주면 전체 공기에 자동적으로 공기가 추가적으로 반영된다.

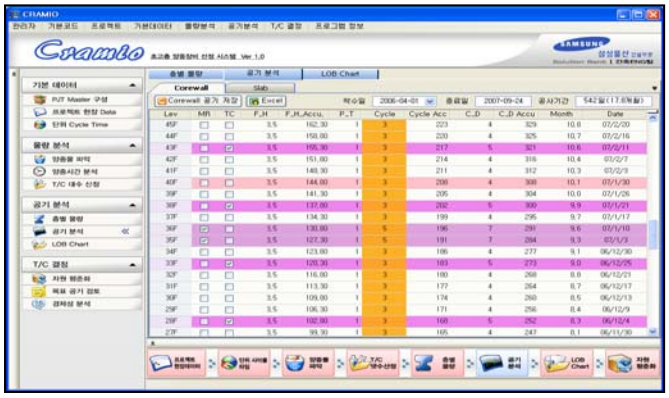

그림 13. 층별 목표 공기 입력

층별로 입력된 공기는 부위별로 월단위의 LOB(Line Of Balance)로 작성되어 공기에 대하여 사용자의 전체적인 검토가 가능하게 하였으며 마우스로 클릭 시 해당 층과 일자를 볼 수 있다. 특히 최소 마감 공기 일정을 입력하여 골조 공사를 비교 검토하는 기능이 추가 되어 있어 층당 골조 공기 의사 결정에 기초 정보를 제공할 수 있다.

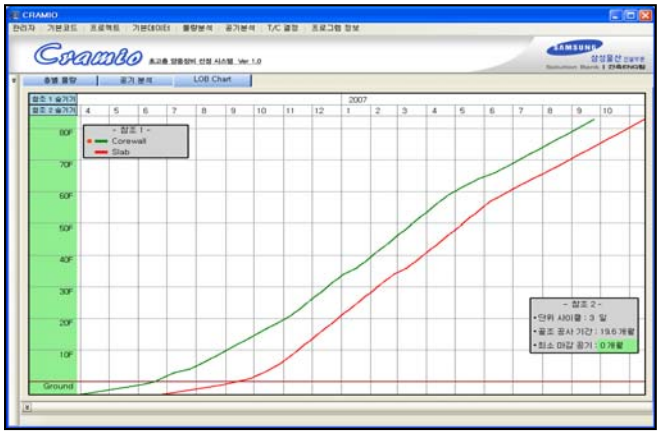

그림 14. LOB 출력

다음 단계는 층당 물량과 층당 목표 공기를 기준으로 산출된 타워크레인의 대수를 사용자가 초기에 작성한 공정표와 비교함으로써 자원 분배(resource leveling)가 적절하게 반영되어 있는지 검토한다. 이는 산술적인 층별 물량을 기준으로만 장비 대수를 산정 시 발생할 수 있는 오류를 방지해주는 역할을 하게 된다.

그림15와 같이 초기 단계에서 입력된 공정을 부위별 조닝별로 자동적으로 공정표가 작성이 되며 1시간 단위로 양중 되는 양중재의 종류별로 회귀식 모델로 산정된 양중시간을 적용하여 시간대별 소요 타워크레인 대수를 계산해 준다. 만약 특정 시간대에 양중재가 집중되어 산술적인 타워크레인 대수 보다 많은 장비를 투입해야 하는 경우에는 양중 시점을 분산하여 가장 경제적인 타워크레인 대수가 적용 되도록 화면에서 조정할 수 있다.

조정된 단위 사이클은 전 화면인 LOB 공정표로 전체 골조 공기의 증감을 실시간으로 확인하여 최종적인 의사결정을 수행하게 된다.

본 시스템은 단계별로 검토하는 정보가 전체 모듈에 실시간으로 적용될 수 있도록 하여 각 단계를 순서와 상관없이 클릭해도 변경된 정보가 반영되어 빠른 의사결정이 가능하도록 하였다.

그림 15. 자원 평준화 기능

자원 평준화를 통하여 층당 사이클 및 전체 공기를 확정하는 단계가 완료되면, 사용자는 경제성 분석을 위하여 양중 부재의 중량을 기반으로 해당 건축물에 사용할 수 있는 타워크레인의 기종을 선정하게 된다.

사용자가 입력한 정보를 바탕으로 양중물 최대 중량, 양중 횟수, 양중 시간, 목표 층당 사이클을 준수하기 위한 최소 타워크레인 호이스트 기어 속도는 자동으로 계산이 되며 계산된 결과 조건을 만족하는 타워크레인의 복수의 기종[10]이 선택되어 표시된다. 또한 그림 17과 같이 그래프 분석을 마친 후 선정한 장비에 대한 스펙 제공과 CAD도면을 작성하는 기능을 가지고 있다.

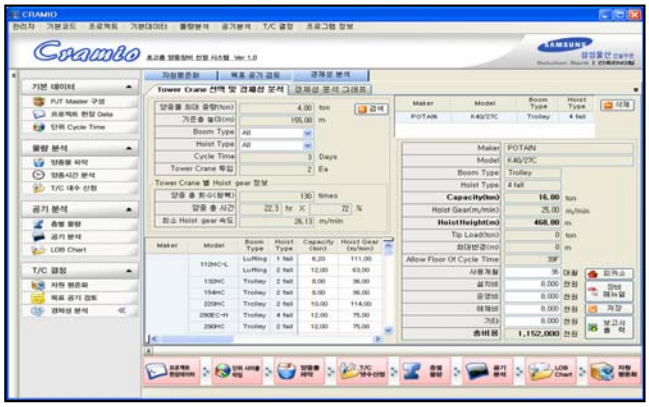

그림 16. 타워 크레인 기종 선정

그림 17은 분석된 사례로 선정된 3개의 타워크레인 기종을 바탕으로 기종별로 층당 공기를 충족시키는 한계를 계산하여 그래프로 보여주는 화면이다.

가장 상위에 있는 그래프는 사용자가 설정한 층별 목표 공기를 나타내고 있으며 나머지 선은 각각 장비 기종을 반영할 때 가능한 층별 공기를 보여주고 있다.

그림 17. 기종별 공기 분석

사용자가 층당 3일 사이클을 목표로 한 층은 60층이며 H30 기종일 경우에는 58층까지, MD 365B 기종은 69층까지 가능함을 알 수 있다. 이는 상대적으로 저가인 H30기종을 사용 시 목표한 3일 사이클 달성에 가능하며, MD 365B 기종을 사용 시 장비 가격은 상승하지만 3일 사이클을 9개층 정도 더 진행하여 달력일로 12일 정도 공기 단축이 가능함을 의미한다. 이러한 정보를 바탕으로 프로젝트 상황에 가장 적합하고 목표한 전체 공기에 가장 경제적인 장비를 선정 할 수 있다. 또한 선정된 장비 정보를 기초로 그림 18과 같이 CAD 도면상에 위치를 검토 및 작성 할 수 있다.

10) 크롤리 타입, 러핑 타입을 모두 포함하며, 총 198기종이 등록되어 있다.

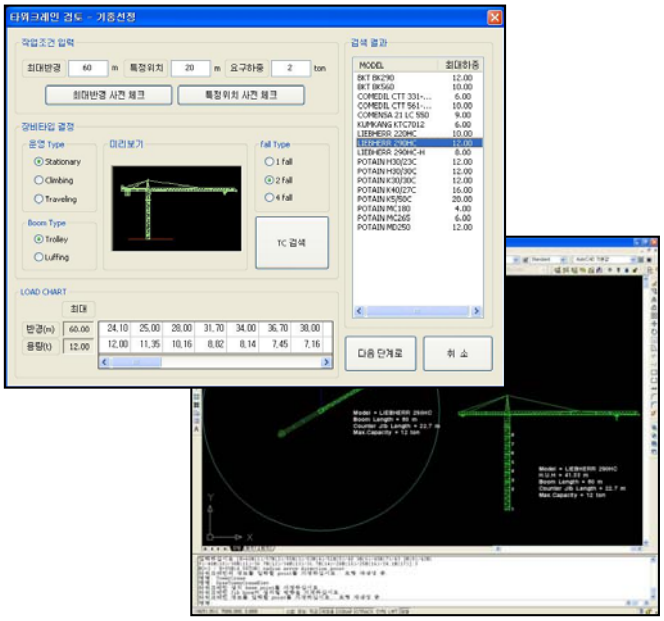

그림 18. CAD 작업 화면

5. 결 론

5.1 시스템 적용 효과 및 성과

극 초고층에 대한 재료와 공법 등에 대한 연구는 많이 진행되고 있는 반면에 공기 준수에 영향을 미치는 양중 장비에 대한 연구는 상대적으로 부족한 현실이다. 이러한 현실에서 극 초고층의 특성을 고려한 양중 장비를 통하여 층별로 세부적인 공정 분석과 검토가 가능하게 되었다는 점은 공정관리 분야에서는 패러다임의 전환이라고 할 수 있다.

다음은 시스템 개발을 통한 적용 효과 및 성과이다.

1) 극 초고층 프로젝트는 규모상 제한된 정보를 가지고 초기 검토를 진행해야 되는데 본 시스템을 활용 시 비교적 정확한 양중 장비 및 공기 예측이 가능하다.
2) 극 초고층에서 양중 부하에 직 간접적으로 영향을 주는 요인들을 당사에서 시공 중인 Burj Dubai 실적 자료를 활용하여 예측의 정확도를 높였다.
3) 실적 자료 활용에 있어서 고정된 통계 모델이 아닌 사용자가 입력하는 정보에 반응하는 변동형 통계모델을 사용하였으며, 특히 현장 데이터를 축적하여 상위층의 층당 공기를 정확히 예측할 수 있는 기능도 있다.
4) 시공 사례가 없는 극 초고층 프로젝트 검토 시 층별 공기를 양중 장비를 통해 예측 및 검증할 수 있는 이론 및 알고리즘을 개발 하였다.
5) 분석을 통하여 선정된 복수의 타워크레인을 이용하여 해당 프로젝트에서 공기 측면과 경제성 측면을 동시에 검토할 수 있게 하였다.
6) 6시그마 기법을 적용하여 연구 범위 및 개발 방향 등을 합리적으로 분석하여 추진함으로써 연구자의 주관적 오류를 최소화 하였으며 보다 체계적인 연구를 진행 할 수 있었다.

5.2 시스템 확장 계획

공정과 연계된 타워크레인 선정 시스템 개발 결과를 바탕으로 당사에서 기 개발된 타워크레인 안전성 검토 프로그램인 OptiCRANE[11]과 연동을 시켜 양중 장비에 대한 다각적인 검토가 가능한 패키지를 개발할 예정이다.

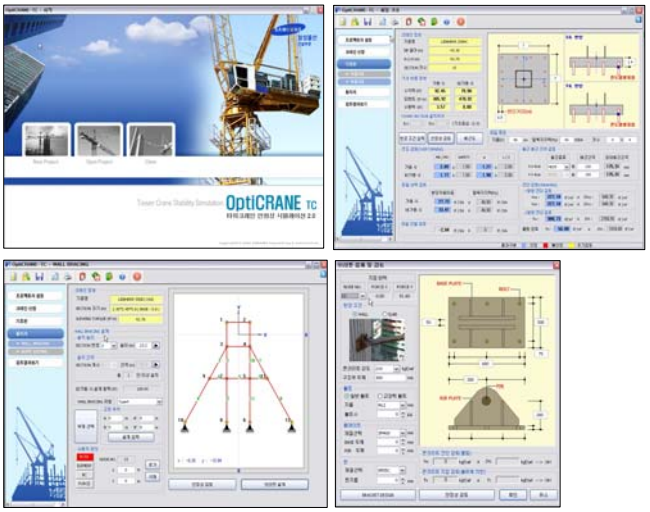

그림 19. OptiCRANE 구성

또한 3D 기반의 설계 프로젝트들이 가속화 되고 있는 현실을 반영하여 BIM(Building Information Modeling)기술을 도입하여 타워 크레인 최적 위치 선정, 골조 및 후속 공정과의 간섭 사항 검토가 가능하도록 개발할 예정이다.

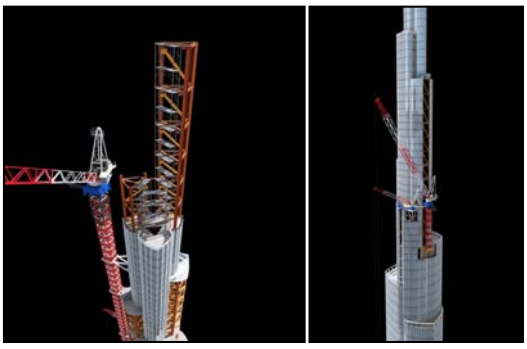

그림 20. Burj Dubai 검토 사례

11) 2007년도 개발된 시스템으로 타워크레인의 기초판 설계 및 브라켓 관련 구조 설계가 가능하다.

참 고 문 헌

1. 강경인, 서덕석, 남시대 고층 건축물의 양중계획 합리화에 관한 연구. 대한건축학회 학술발표 논문집. 제16권 제1호 pp.447~450. 1996.4
2. 김정진, 최인성, 초고층 건축공사의 양중계획 시스템에 관한 연구, 한국건축시공학회 논문집, 제5권 제4호, pp.121~129, 2005.12
3. 이현수, 채희동, 장명훈 고층 건축공사의 타워크레인 계획 프로세스 개발, 대한건축학회 논문집, 제18권 제6호, pp.119~126, 2002.6
4. C.M Tam, W.T Leung, D.K Liu, Nonlinear Models for Predicting Hoisting Times of Tower Cranes. Journal of Computing in Civil Engineering, pp.76~81, 2002
5. W.T Leung, C.M Tam, D.K Liu, Comparative study of artificial neural networks and multiple regression analysis for predicting hoisting times of tower cranes. Building and Environment , pp.457~467, 2001
6. W.T Leung, C.M Tam, Models For Assessing Hoisting Times of Tower Cranes. Journal of Construction Engineering and Management, pp.385~391, 1999

(접수 2009. 10. 7, 심사 2009. 12. 4, 게재확정 2009. 12. 11)

요 약

극 초고층 공사에서 합리적인 타워크레인 선정이 필수적이나 현장 실적 자료의 부족과 주관적인 경험에 의한 계획 수립, 체계적인 기준 부재 등으로 계획상 오류나 비효율성이 크다. 특히 극 초고층의 특성 중의 하나인 높이에 따른 영향 요소들에 대한 분석이 미비하여 단순히 장비의 기계적 특성을 가지고 양중 시간을 예측하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 양중 계획 시 담당자가 활용하기에 용이하고 체계적인 양중 분석이 가능한 시스템을 개발 하였으며, 현존 최고층인 버지 두바이의 자료를 활용하여 가변형 통계 모델을 개발하였다. 또한 층당 적정 공기 여부를 선정한 장비를 바탕으로 검토 및 의사결정을 가능하게 함으로써 극 초고층 공기 산정 방법의 패러다임을 전환 시켰다는 의미도 있다.

키워드 : 극 초고층 건축물, 타워크레인, 양중 계획, 통계적 모델, 층당 공기 예측 및 분석