

건설현장의 조건을 고려한 최적 타워크레인 선정시스템

A System for the Selection of the Optimum Tower Cranes(Opt-TC)

호종관* 국동훈** 김선국***

Ho, Jong-Kwan Kook, Dong-Hoon Kim, Sun-Kuk

요 약

건설프로젝트의 고층화, 대형화 추세에 따라 효율적인 양중계획의 중요성이 부각되고 있다. 양중작업의 대부분을 차지하고 있는 타워크레인의 경우, 양중부하에 적합한 최적 크레인을 선정하고 안전성을 확보하는 것은 생산성뿐만 아니라 프로젝트의 원가, 공기 등의 측면에서 매우 중요하다. 따라서 철저한 사전계획에 따라 적합한 크레인을 선정 후 안전하게 지지하는 일련의 작업은 전문적인 지식을 필요로 한다. 그러나 전문가의 수가 제한적이며, 이들 전문가의 경우에도 다양한 크레인의 양중성능, 운전특성, 임대 등에 대하여 상세히 알기보다는 본인들이 주로 사용한 제한적 수의 크레인에 대한 정보를 가지고 있을 뿐이다. 따라서 본 연구는 고층공사의 양중계획단계에서 현장조건에 따른 최적 타워크레인을 선정하고 그 안정성을 쉽고 빠르게 검토할 수 있는 선정시스템을 구축하였다. 본 선정시스템은 크레인 선정시 다양한 기종 및 성능에 대한 정보 제공은 물론, 해당 크레인의 기초판과 횡지지에 대한 안정성을 실시간으로 비주얼하게 검토할 수 있어 크레인 선정에 효과적인 도구로 사용될 것으로 예상된다.

키워드 : 타워크레인, 안정성 검토, 양중계획

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 대형화, 고층화되고 있는 건설프로젝트의 추세에 따라 타워크레인의 효율적인 사용이 프로젝트의 중요한 영향을 미치고 있다. 특히, 양중부하에 적합한 최적 타워크레인을 선정하고 그 안정성을 확보하는 것은 생산성뿐만 아니라 프로젝트 원가, 공기 등의 측면에서 매우 중요하게 작용하고 있는 것이 현실이다.

또한 크레인 설치높이의 증가, 운반자재의 중량화(重量化)는 크레인 기초판 및 횡지지 보강 등과 관련한 안정성 부분의 공학적 검토가 반드시 선행되어야 한다. 그 대표적인 예로 2003년 9월 태풍에 대한 충분한 안정성 검토가 이루어지지 않은 상태에서 크레인을 방치하여 52대의 타워크레인이 전도 및 붕괴되어 막대한 인적, 물적 피해를¹⁾ 입은바 있으며, 한국산업안전공단에

따르면 2006년 한해에도 6건의 타워크레인 붕괴사고가 발생한 것으로 보고됐다.

따라서 철저한 사전계획에 따라 양중부하를 결정하고 이에 적합한 크레인을 선정 후 안전하게 지지하는 일련의 작업은 전문적인 지식을 필요로 한다. 그러나 전문가의 수가 제한적이며, 이들 전문가의 경우에도 크레인의 양중성능, 운전특성, 임대 등에 대하여 본인들이 주로 사용한 제한적인 정보만을 가지고 있을 뿐이다.

따라서 본 연구는 고층공사의 양중계획단계에서 다양한 현장 조건에 적합한 크레인을 선정하고 그 안정성을 쉽고 빠르게 검토할 수 있는 '최적 타워크레인 선정시스템(이하 Opt-TC 시스템)' 구축을 목적으로 한다. 본 시스템은 크레인 선정시 다양한 기종에 대한 성능정보를 제공함은 물론, 해당 크레인의 기초판 설계 및 횡지지 보강에 대한 안정성을 실시간으로 비주얼하게 검토²⁾할 수 있어 크레인 선정에 효과적인 도구로 사용될 것으로 예상된다.

* 일반회원, 삼성물산 건설부문 기술본부 TA팀 장비전문위원
hjk111@samsung.com

** 일반회원, 경희대학교 대학원 건축공학과 석사과정(교신저자)
ajkook@naver.com

*** 종신회원, 경희대학교 건축공학과 교수, 공학박사
kimskuk@khu.ac.kr

1) 구문희 (2006)의 연구내용 및 기타 태풍 매미의 피해사례를 기초로 작성함.

2) 본 연구에서 의미하는 '실시간으로 비주얼하게 검토'란 사용자의 의사결정사항을 시스템상에서 실시간 그래픽 제공을 통해 확인할 수 있게끔 하는 것을 말함.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 효율적인 진행과 Opt-TC 시스템의 정확한 이해를 위해 다음과 같이 연구범위를 제한한다.

첫째, Opt-TC 시스템은 양중계획에 있어 최적 타워크레인 선정에 관한 연구로, 양중계획단계는 공정계획 수립, 타워크레인 위치 및 대수산정, 타워크레인 장비 설치 및 운영·해체 등의 작업이 이루어지며 그 중 Opt-TC 시스템은 크레인 선정에 관한 연구이다.

둘째, 본 논문에서 언급할 Opt-TC 시스템의 안정성 검토내용은 기초판 설계검토분야만을 다룬다. Opt-TC 시스템은 기초판 설계, 횡지지 보강, 부재선정에 대한 안정성 검토가 가능하도록 연구되었지만 기초판 설계를 제외한 나머지 분야는 전문적인 구조적 지식을 바탕으로 공학적 해석이 필요하므로 본 논문에서는 제외한다.³⁾

아래 <그림 1>은 연구범위를 도식화한 것이다.

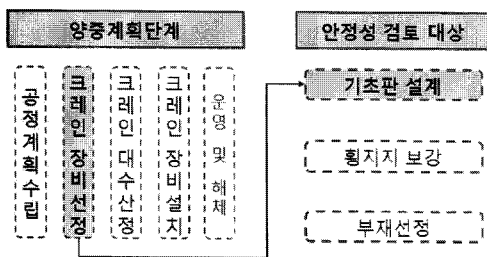


그림 1. 연구범위

본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행된다.

우선 건설프로젝트에서 양중계획 및 크레인 선정과 관련된 연구동향을 알아보고 기존 연구의 한계점 분석을 통해 Opt-TC 시스템의 필요성 및 연구방향을 도출한다. 다음으로 일반적인 크레인 선정 프로세스 분석 및 전문가 자문을 통해 Opt-TC 선정 프로세스를 도출하고 구체적인 크레인 선정 및 안정성 검토 과정을 설명한다. 마지막으로 현장사례적용을 통해 Opt-TC 시스템의 실용가능성 및 그 효율성을 검토한다.

2. 이론적 고찰

2.1 관련연구동향

지금까지 수행되어온 관련연구를 고찰함으로써 기존 크레인

선정방식의 한계점을 파악하고 프로세스를 분석함으로써 Opt-TC 시스템의 선정 프로세스를 작성하는데 참고하였다. 분석 대상은 크게 양중계획과 연계한 크레인 선정에 관한 연구, 크레인 안정성 검토에 관한 연구로 나뉜다.

(1) 크레인 선정 관련연구

양중계획과 연계하여 크레인을 선정하는 연구는 다음과 같이 진행되어왔다.

Furusaka and Gray (1984)의 연구는 임대, 설치 및 해체비용을 최소로 하는 목적함수를 사용하여 최적 크레인을 선정하는 방식을 제시하였다. 이를 통해 다양한 크레인을 복합적으로 조합하는 이상적인 모델을 제시하였으나 동일한 크레인을 지속적으로 사용하여 공기, 원가 측면에서 유리한 20층 이상의 고층 건물의 경우에는 실무적으로 적용하기 어렵다. 또한 위 연구는 건설현장에서 사용가능한 다수의 크레인에 대한 정보를 충분히 반영하지 못했다.

Gray and Little (1985)은 초기설계단계에서 설계내용에 적합한 이동식 크레인(mobile crane)과 타워크레인을 선정하는 체계적인 접근방법을 제시하였다. 특히 타워크레인의 경우에는 지브형태(jib type) 및 다양한 하부형태(base type)의 크레인을 현장조건에 적합하게 선정하고 위치까지 선정하는 체계적인 방식을 제시하였다. 그러나 선정된 크레인의 안정성을 검토하는 방법은 제시하지 않았으며, 다양한 종류의 크레인 정보를 활용하는 방법도 제시하지 못하고 있다.

김훈 (2000)은 양중장비선정을 위한 의사결정 모델을 제시하였으나 기초연구 수준에 이루어져 실무적으로 적용하기 어렵다.

지금까지 알아본 관련연구에 관한 내용 및 한계점을 정리하면 다음<표 1>과 같다.

표 1. 크레인 선정 관련연구

연구자	내용	한계점
Furusaka, Gray 1984	임대, 설치, 해체비용을 최소로 하는 목적함수를 사용한 최적 크레인 선정방식 제안	적용 가능한 크레인 정보 미흡
Gray, Little 1985	초기설계단계에서 설계내용 및 현장조건을 크레인 정보에 기초한 선정방식 제안	선정된 크레인에 관한 안정성 검토 여부 결여
김훈 2000	양중장비 선정을 위한 의사결정 모델을 제안	실무에서도 적용 가능한 선정모델 필요

(2) 안정성 검토 관련연구

타워크레인의 안정성 검토와 관련된 연구는 다음과 같다.

이명구, 노민래 (2000)의 연구는 타워크레인의 사고사례 중 기초앵커 설치의 오류로 인하여 발생된 재해를 대상으로 사고원

3) 최종 Opt-TC 시스템은 기초판 설계, 횡지지 방법 및 부재선정에 관련된 안정성 검토가 이루어지도록 계획되었음.

인을 분석하였다. 이 연구는 여러 하중조건에 따른 부재력의 거동을 구조해석을 통해 객관적으로 설명했다는 부분에서 그 의미가 크지만 크레인 붕괴원인에 대한 다양한 분석이 이루어지지 않은 아쉬움이 있다.

이병구, 설종협 (2002)의 연구에서는 타워크레인의 설치형태에 따른 지지방법을 구조적으로 접근하여 소개하였다. 이 연구는 자립식(stationary type)일 때의 기초형태와 중간지지식(lateral anchoring type)일 때의 횡지지 보강방법을 제시하였다. 그러나 개괄적인 내용을 담고 있어 실무에 적용하기에 어려움이 있으며 구체적인 안정성 검토 모델제안이 요구된다.

표 2. 크레인 안정성 검토 관련연구

연구자	내용	한계점
이명구, 노민래 2000	크레인 기초앵커의 부재력의 동을 구조해석을 통해 객관적으로 설명 현장임의의 보조프레임 사용 위험성 제시	다양한 시각의 안정성 검토 미흡
이병구, 설종협 2002	크레인 설치계획 및 구조보강 방법을 자립식형태의 기초방법, 중간지지식형태의 횡방향 보강방법을 통해 설명	현장에서 쓰일 수 있는 안정성 검토 모델 필요

관련연구동향을 분석한 결과 도출한 한계점을 보완하기 위해서는 먼저 현재 건설현장에서 쓰이고 있는 다양한 종류의 크레인인에 대한 체계적인 정리를 바탕으로 실무에서도 쉽고 빠르게 또한 시각적으로 접근할 수 있으며 안정성 검토와 병행하여 구현될 수 있는 선정 시스템의 연구가 필요하다.

2.2 크레인 선정 프로세스 분석

양중계획과 크레인 선정은 매우 복합적이고 동적인 상관관계를 갖는다. 건설관리 측면에서 공기, 비용뿐만 아니라 작업반경, 작업능력, 인근 건물 및 타 작업과의 간섭, 대수 및 위치 선정, 현장설치·클라이밍(climbing)·유지관리·해체 등의 영향요인을 종합적으로 고려하여야 한다. 이와 같은 장비운영계획의 복잡성과 동적 특성은 Lin and Haas (1996)의 연구에서 잘 설명하고 있다.

이러한 관점에서 다양한 영향요인을 검토하여 최적의 양중계획과 그에 해당하는 양중장비를 동시에 선정하는 것은 매우 어려운 문제임으로 체계적인 작업이 수행되어야 한다.

기초양중계획단계에서는 도면검토, 양중자원 분석, 현장조건 등을 검토하여 기본적인 양중계획을 수립한다. 이 과정에서 크레인의 위치, 용량, 대수, 양중조건 등을 결정한다.

크레인 선정단계에서 담당자⁴⁾는 기초양중계획에 적합한 최적의 크레인을 선정하게 되며, 타당성 분석단계에서는 선정된 크레인이 현장 작업조건 및 조달가능여부 등을 충족하는지 검토한다.

전문가 면담⁵⁾ 및 Lin and Haas의 연구를 바탕으로 크레인 선정 프로세스를 정리하면 <그림 2>과 같다.

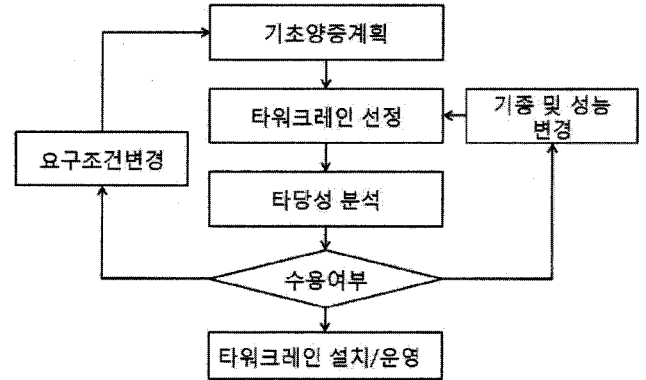


그림 2. 타워크레인선정 프로세스

이와 같은 프로세스를 처리하기 위해서는 각 단계별로 담당자의 의사결정이 필요하다. 아래 <표 3>은 타워크레인 선정단계에서 담당자가 고려해야할 구체적인 의사결정 체크리스트이다.⁶⁾

표 3. 타워크레인 선정단계 체크리스트

단계	검토사항	체크리스트
타워크레인 선정단계	사양 및 기중결정	<ul style="list-style-type: none"> • 크레인 최대인양하중 • 크레인 반경 • 크레인 크기 • 크레인 운전방식 • 기타 기계장치 내구성 • 크레인 기중 • 크레인 수직이동방법 및 자립고 • 크레인 비용 • 크레인 안정성 • 크레인 유지보수성

모든 업무가 만족스럽게 진행되어 적합한 타워크레인이 선정된다면 현장에 안전하게 설치·운영하게 되고 그렇지 못할 경우 기초양중계획상의 요구조건을 변경한다든지, 양중장비의 형식과 용량을 변경하여 다시 타당성 분석을 실행한다.

이와 같이 양중계획에 있어 담당자는 다양한 크레인 관련정보

4) 여기서 '담당자'라 함은 대상프로젝트의 양중계획을 담당하는 이를 칭함.
 5) 본 연구의 크레인선정 프로세스를 도출하기 위해 건설시공회사 15년 이상의 경력을 보유한 현장소장급 3명, 크레인회사 관계자 1명과 면담을 실시하였다.
 6) 김정진, 최인성 (2005)의 내용 중 본 연구에서 정리한 'Tower crane selection' 단계에 적합한 부분을 인용함.

를 기초로 공기, 원가, 생산성 등의 측면 모두를 고려하여 최적 타워크레인 선정과정의 수행과 선정된 크레인에 대한 안정성 검토를 수행하기 때문에 많은 시간과 노력이 소요된다.

3. Opt-TC 시스템 제안

3.1 Opt-TC 시스템 프로세스

본 장에서는 기존 크레인 선정방식에 있어서 한계점을 인식하고 크레인 관련정보의 체계적인 데이터를 기초로 실무현장에서 신속하고 정확한 최적 타워크레인 선정 및 안정성 검토가 가능한 선정 시스템인 Opt-TC 시스템을 제안한다.

아래 <그림 3>은 <그림 2>에서 알아본 크레인선정 프로세스의 한계점인 포괄적인 범위와 의사결정과정의 미흡을 보완하여 그 대상을 크레인선정으로 구체화하였고 세부적인 의사결정과정을 보완하였다.

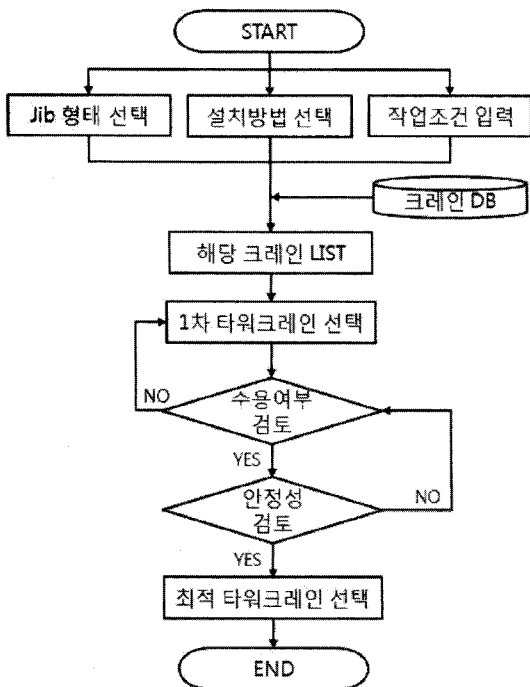


그림 3. Opt-TC 시스템 프로세스

먼저 시스템의 구현을 위해선 다양한 크레인 정보를 확보하여야 하며, 이를 쉽게 검색·활용할 수 있어야 한다. 따라서 <그림 4>와 같이 전 세계적으로 사용되는 주요 타워크레인 정보를 수집하여 데이터베이스화 하였다.⁷⁾

7) 대상 타워크레인은 기존 건축공사의 실적자료 및 전문가 면담을 통해 현재 국내에서 가장 많이 쓰이고 있는 크레인 종류와 이를 공급하는 제조사들의 기타 크레인 종류를 조사하여 정리한 것이다.

	A	B	C	D	E	F
1	LEIBHERR 291HC	MAX	Prata	Prata	3	
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9	Climbing Tower	RunOff	1577	1434	1774	1776
10	Local Jack	RunOff	217	215	316	310
11		RunOff	276.4	427.2	471.2	495
12		RunOff	0	0	0	0
13		RunOff	1223	1465	1804	1796
14		RunOff	37.4	27.4	30.4	37.4
15		RunOff	282.4	479.2	471.2	495
16	Tower	4	13.5	18.5	16.5	12.5
17	section	5	11	13	11	11
18	above top	6	11.5	11.5	11.5	11.5
19	anchor point	7	11.4	11.5	11.8	11.4

그림 4. excel을 이용한 타워크레인 데이터베이스

Opt-TC 시스템은 입력된 양중조건에 부합하는 크레인 중 하중제원(load chart)의 검토를 통해 가장 효율적이라고 판단되는 1차 타워크레인을 선택한다.

담당자는 선택된 1차 크레인의 타워섹션(tower section), 자립고(自立高)⁸⁾, 설치높이의 수용여부를 검토하게 되며 기초판 설계, 횡지지 방법, 부재선택과 같은 안정성 검토단계를 거쳐 최종 타워크레인을 선정하게 된다.

1차 타워크레인 및 최종 타워크레인의 선정에 관련된 상세한 기준 및 과정은 '3.2 시스템 구현과정 분석'에서 알아보도록 한다.

3.2 시스템 구현과정 분석

다음 내용은 위에서 제시한 프로세스를 근간으로 Opt-TC 시스템의 상세한 구현과정을 기술한 것이다.

(1) 양중조건 입력

먼저 기초양중계획단계에서 결정된 지브형태, 설치방법 및 작업조건을 입력한다.

표 4. 구분기준에 따른 타워크레인 종류

구분	Type	내용
지브형태	트롤리식	• 타워크레인의 주종을 이루는 형식이며, 주로 주변에 장애물이 없을 때 많이 사용
	러핑식	• 지브를 상하로 움직여 작업물을 인양할 수 있는 형식이며, 고공권 침하나 터 건물에 간섭이 있을 경우 사용
설치방법	고정식	• 고정식 설치방법으로 지반에 픽싱 앵커(fixing anchor)를 콘크리트 블록으로 고정하여 크레인을 지지
	상승식	• 상승식 설치방법으로 건물자체에 크레인을 지지

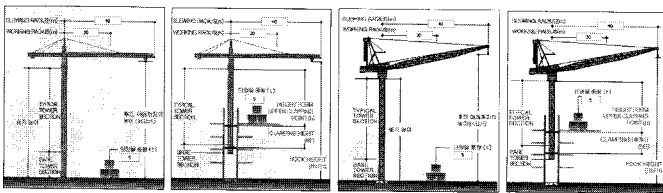
Opt-TC 시스템은 크레인의 종류를 지브형태에 따라 트롤리

8) 자립고란 별도의 보강 없이 크레인 스스로 작업이 가능한 최대 높이를 말하며, 횡지지 검토 여부를 결정하는 중요한 기준이 됨.

식(trolley type)과 러핑식(luffing type)으로 구분하고 이는 설치방법에 따라 다시 고정식(stationary type)과 상승식(climbing type)으로 구분하여 담당자로 하여금 현장여건에 따라 알맞게 선택하도록 구현하였다.

〈표 4〉는 지브형태, 설치방법에 따라 구분된 크레인의 주요내용을 정리한 것이다.

〈그림 5〉와 같이 지브형태, 설치방법을 입력하게 되면 Opt-TC 시스템은 담당자에게 실시간으로 해당 크레인의 그래프를 제공한다. 이는 초보자도 쉽게 이용할 수 있는 시스템 구현과 담당자가 선택한 크레인의 인식도를 높일 수 있게 하기 위해서이다.



(a) 트롤리 - 고정식 (b) 트롤리 - 상승식 (c) 러핑 - 고정식 (d) 러핑 - 상승식
그림 5. 선택된 크레인의 그래프 제공

다음으로 선택한 크레인 형식에 작업조건인 회전반경, 작업반경, 인양물 중량을 입력한다.⁹⁾ 아래 〈그림 6〉은 트롤리-고정식 크레인의 회전반경 40 m, 작업반경 30 m, 인양물 중량 5 t의 데이터를 입력한 Opt-TC 시스템 구현을 가정한 모습이다.

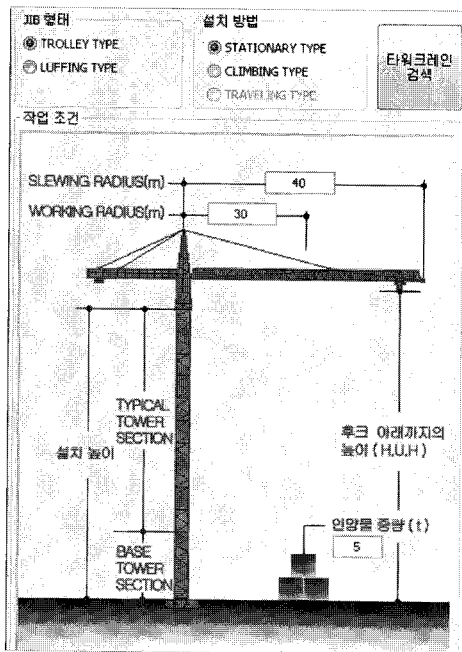


그림 6. 타워크레인 양중조건 입력

9) 회전반경은 크레인 지브길이, 작업반경은 실제 후크(hook)가 도달하는 길이, 인양물 중량은 인양물의 최대중량을 기준으로 기초 양중계획시 선정 한 데이터임.

지금까지의 과정을 거쳐 입력된 양중조건에 부합한 크레인은 〈그림 7〉과 같이 미리 입력된 크레인 데이터베이스를 기초로 리스트화 되고 이를 담당자에게 제공한다.

기종명	용량(ton)
LIEBHERR 290HC	12.00
LIEBHERR 500HC	20.00
LIEBHERR 550EC-H20	20.00
POTAIN MD250	12.00
KUMKANG KTC7012	12.00
COMEDIL CTT 331-12 H20	12.00
COMEDIL CTT 561-20 HD23	20.00
PEINER SK 565	32.00
사용자정의추가	

그림 7. 해당 타워크레인 리스트

(2) 1차 타워크레인 선택

담당자는 해당 크레인 리스트 중 하중제원(load chart) 분석, 조달가능성 여부, 비용, 설치·운행·해체 용이성 등의 조건검토를 통해 1차 타워크레인을 선정한다.

Opt-TC 시스템은 위 조건 중 객관적인 검토가 가능한 하중제원을 〈그림 8〉과 같이 제공하여 담당자의 신속한 의사결정이 가능하도록 하였다.¹⁰⁾

아래 그림은 'LIEBHERR 290HC' 기종의 하중제원이다. 지브길이를 55.00m로 설정할 경우, 약 25 m 까지는 12.00 t의 무게를 작업할 수 있으며 그 이상 거리가 떨어질수록 감당할 수 있는 무게도 줄어드는 것을 그래프를 통해 보여주고 있다.¹¹⁾

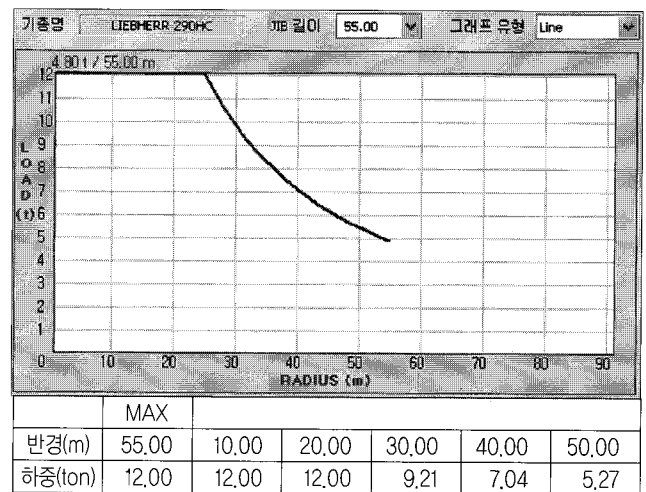


그림 8. LIEBHERR 290HC 기종의 하중제원

10) 그 외 조건검토분야는 시간에 따른 자료의 유동성이 있고, 관련업체의 독자적인 정보이므로 데이터베이스화하기 어려움.

11) 지브길이는 담당자의 선택에 따라 변화가능하며 그에 따른 반경 및 하중의 변화를 그래프 상에서 제공함.

(3) 수용여부 검토

1차로 선택한 크레인의 수용여부를 판단하기 위해 섹션크기, 자립고 정보, 높이 검토단계를 수행한다.

먼저 1차로 선택한 크레인의 기초타워섹션(base tower section)과 일반타워섹션(typical towers section)의 크기를 선

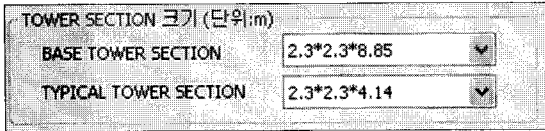


그림 9. 섹션크기 선택

택한다. 이는 기종에 따라 선택할 수 있는 섹션의 종류가 다르기 때문이다. 따라서 담당자는 현장여건을 고려하여 알맞은 섹션크기를 선택한다. 참고로 아래 <그림 9>는 기초타워섹션과 일반타워섹션을 선택한 모습이다.

Opt-TC 시스템은 입력된 크레인 기종 및 섹션크기를 토대로 타워크레인의 자립고 정보를 제공한다. 자립고 정보에서는 후크 아래까지의 높이, 자립고 상태에서의 타워섹션 개수 및 조합정보를 보여준다. 자립고 정보는 이후 안정성 검토에서 횡지지 여부를 결정하는 중요한 기준이 된다.

<그림 10>은 1차 타워크레인으로 선정한 'LIEBHERR 290HC' 기종의 자립고 정보를 나타낸 모습이다.¹²⁾

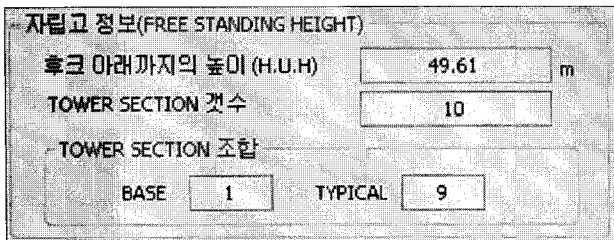
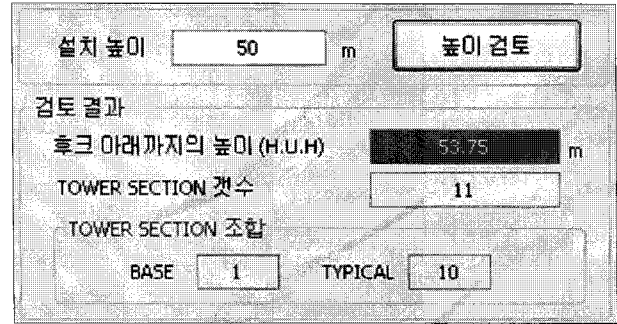


그림 10. 섹션크기 선택 및 자립고 정보

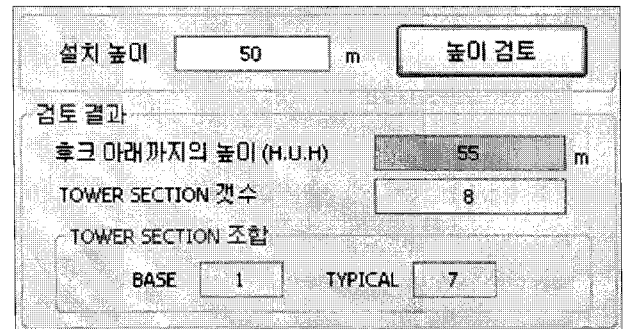
수용여부 검토의 마지막 단계는 해당 공사규모 및 주변간섭 여부를 고려한 타워크레인의 설치높이를 검토하는 것이다. 예를 들어 공사규모와 주변의 간섭을 피할 수 있는 설치높이를 50 m 라 설정하였다면 그 높이가 대상 크레인의 자립고 이상인지 이하인지 검토하게 된다. 설치높이가 자립고 이하일 경우, 별도의 횡지지 보강이 필요하지 않지만 자립고 이상일 경우에는 횡지지 보강을 검토하거나 자립고가 더 높은 기종으로 1차 타워크레인을 변경한다.

<그림 11-a>는 1차 타워크레인으로 선정된 'LIEBHERR

290HC' 기종의 자립고가 담당자가 요구하는 설치높이보다 낮아 타워섹션의 추가 및 횡지지 보강이 필요하다는 결과를 나타내는 모습이며 <그림 11-b>는 1차 타워크레인을 'LIEBHERR 500HC' 기종으로 변경한 후 설치높이를 만족시키는 모습이다.



a) 설치높이가 자립고 이상일 때 (LIEBHERR 290HC)



b) 설치높이가 자립고 이하일 때 (LIEBHERR 500HC)

그림 11. 기종 변경에 따른 자립고 및 타워섹션 조합 변경

(4) 안정성 검토

지금까지 Opt-TC 시스템을 통해 1차 타워크레인 선정의 구체적인 구현과정을 살펴보았다. 위 과정을 토대로 선정된 기종은 최종적으로 기초판 설계, 횡지지 보강(설치높이가 자립고 이상일 경우), 부재선정의 안정성 검토를 거쳐 최종 타워크레인 선정 여부를 결정하게 된다.

연구의 범위에서 언급한 것과 같이 횡지지 보강 및 부재선정의 검토는 전문적인 구조적 지식을 바탕으로 한 공학적 해석이 필요하므로 대상 크레인의 설치높이가 자립고 이하일 경우로 가정하고 기초판 설계에 대한 검토과정을 살펴본다.¹³⁾

먼저 <그림 12>에서 제공하는 1차로 선정된 크레인의 정보와 기초판 설계에 활용될 하중 정보를 확인한다. 이는 1차 타워크레인 선택 과정 및 데이터베이스에 기초한 정보를 통해 제시되는 부분이다.

12) 기종의 자립고 높이일 때 후크 아래까지의 높이는 49.61 m가 된다는 것이며, 그때의 타워섹션 개수는 10개란 뜻임.

13) 기초판 설계는 크게 직접기초와 파일기초로 나뉘며 본 구현과정에서는 직접기초를 대상으로 진행함.

크레인 정보		
기종명	LIEBHERR 500HC	
JIB 길이 (m)	51.70	
H.U.H (m)	55.00	
SECTION 갯수	7	
기초 하중 정보		
	가동 시	비가동 시
수직력 (tf)	151.63	140.92
모멘트 (tf·m)	534.59	854.29
수평력 (tf)	8.78	14.90

그림 12. 선정된 크레인 정보 및 기초판 설계에 활용될 하중 정보

다음으로 <그림 13>과 같이 현장조건을 입력한다. 입력내용은 기초판 제작에 쓰일 콘크리트의 압축강도(MPa) 및 피복두께(cm), 철근강도(MPa), 전도에 대한 안전율, 지반의 단위면적당 작용하는 하중으로 표현된 허용지내력(MPa)으로 구성된다. 현장조건내용은 기초판의 안정성 검토과정을 거치면서 변경될 수 있다.

콘크리트	
CONC (fck)	<input type="text"/> Mpa
피복 두께	<input type="text"/> cm
철근	
철근 강도 (Fy)	<input type="text"/> Mpa
현장조건	
안전율 (전도모멘트)	<input type="text"/>
허용지내력 (qa)	<input type="text"/> Mpa

그림 13. 현장조건 입력

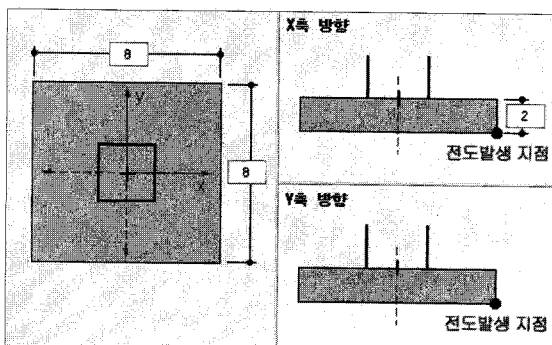


그림 14. 기초판 설계치수 입력

현장조건 입력이 끝나면 <그림 14>와 같이 전체적인 기초판 설계치수를 입력한다. Opt-TC 시스템은 기초판의 X축, Y축 및 깊이를 담당자가 입력하여 추후 안정성 검토 결과에 어떻게 작용하는지를 보여준다. 예를 들어 초기 기초판 설계치수를 입력

하고 안정성 검토를 실행한 결과, 전도 및 지내력 검토부분에서 불안정하다는 결과가 나왔다면 담당자는 설계치수를 수정해가며 안정성이 인정되는 최적 치수를 도출할 수 있다.

기초판 설계의 안정성 검토를 위한 모든 입력이 끝나면 최종적으로 전도, 지내력, 철근배근간격, 전단에 관한 검토결과를 크레인이 가동할 때와 가동하지 않을 때로 구분하여 제시한다.

다음의 내용은 Opt-TC 시스템의 기초판 설계 안정성 검토과정을 구현한 모습과 검토기준을 정리한 내용이다.

① 전도 검토

하중 편심에 의해 크레인이 전도(overturning)될 수 있는 위험 여부를 검토한다.

표 5. 전도 검토기준

항목	설명 및 산정식
검토기준	$(RM / OM) \geq \text{SAFETY}$ and $e \leq (L / 3)$
저항모멘트 RM	• 기초자중과 수직력에 의해 버틸 수 있는 저항모멘트 $RM = (\text{기초자중} + \text{수직력}) \times \text{기초크기} / 2$
전도모멘트 OM	• 모멘트와 수평력에 의해 기초가 넘어갈 수 있는 전도모멘트 • $OM = \text{모멘트} + (\text{수직력} \times \text{기초두께})$
SAFETY	• 전도에 대한 안전율
e	• 편심하중이 발생하는 기초 중심에서부터의 거리 • $e = [\text{모멘트} + (\text{수평력} \times \text{기초두께})] / (\text{수직력} + \text{기초자중})$
L / 3	• 편심거리 e가 벗어날 수 없는 기초판 한 변의 최소길이

전도 검토(OVERTURNING)				
	MR / MO	SAFETY	e	L / 3
가동 시	3.32	≥ 1.50	1.20	≤ 2.67
비가동 시	2.03	≥ 1.50	1.97	≤ 2.67

그림 15. 전도 검토결과

② 지내력 검토

지내력 검토는 기초판의 편심거리에서 가해진 총 수직력과 지반지내력의 합인 최대지내력(qs)이 지내력 시험 결과값이나 지질주상도에 나타난 N치로 나타난 허용지내력(qa)을 초과하게 되면 기초판의 침하가 일어나 타워크레인이 전도될 수 있어 이의 위험여부를 검토한다.

아래 <표 6>은 지내력 검토기준에 대한 내용이며 <그림 16>은 시스템에서 검토결과를 나타낸 것이다.

표 6. 지내력 검토기준

항목	설명 및 산정식
검토기준	$qs \leq qa$
최대지내력 qs	• 편심거리에서 가해진 총 수직력과 지반지내력 합의 크기 $qs = [2 \times (\text{수직력} + \text{기초자중})] / [3 \times (\text{단변} / 2 - e) \times \text{단변}]$
허용지내력 qa	• 지내력 시험 결과값이나 지질주상도에 나타난 N치 활용 $qa = \text{현장조건에서 입력한 기준값}$

그림 16. 지내력 검토결과

③ 철근배근간격 검토

힘 보강근을 산정하고 적절한 배근간격을 검토한다.

표 7. 철근배근간격 검토기준

항 목	설명 및 산정식
철근종류	• HD19, HD22, HD25, HD28, HD32 중 선택
배근간격	• 최대배근간격 이하로 설정
최대배근간격	• 철근종류에 따라 최대로 배근할 수 있는 간격 최대배근간격 = 단위폭 당 철근단면적 / 최소철근량

그림 17. 철근배근간격 검토결과

④ 전단 검토

전단 검토는 토압에 의해 발생하는 기초판의 전단(shearing) 위험성을 검토한다. 특히 부재가 휨강도에 도달하기 전에 전단 파괴가 일어나지 않도록 설계해야 한다. 따라서 기초판의 전단 검토는 1방향으로 휨작용(bending action)이 이루어진다고 가정된 1방향 전단 검토, 사인장력(diagonal tension force)에 의해 파괴되는 것으로 가정된 2방향 전단 검토가 이루어져야 한다.

아래 <표 8>은 전단 검토기준에 대한 내용이며 <그림 18>은 시스템에서 검토결과를 나타낸 것이다.

표 8. 전단 검토기준

항 목	설명 및 산정식
검토기준	$V_u \leq V_c$
소요전단강도 V_u	• 위험단면에서의 소요전단강도
설계전단강도 V_c	• 콘크리트가 부담하는 설계전단강도

그림 18. 전단 검토결과

지금까지의 과정을 통해 Opt-TC 시스템은 현장조건에 따른 최적 타워크레인을 선정하고 안정성 검토를 동시에 수행하며 각각의 결과물을 담당자에게 실시간으로 비주얼하게 제시한다. 이와 같이 기존 크레인 선정방식의 한계점을 보완하고 담당자와 시스템간의 쌍방향 의사소통이 가능한 선정시스템이 가능하도록 구현하였다.

4. 사례적용

다음은 Opt-TC 시스템을 활용하여 실제 건축프로젝트의 양중계획에 있어 타워크레인 선정과정을 진행해 본내용이다.

4.1 적용대상프로젝트 개요

대상프로젝트는 서울시내 고층아파트 재건축 공사이며 양중계획을 세우기 위한 실적자료를 입수하여 Opt-TC 시스템 입력조건에 적용하였다. 대상프로젝트의 개요는 <표 9>과 같다.

표 9. 대상프로젝트 개요

구 분	내 용
공사명	대치OO 고층아파트 재건축공사
공사기간	2002.03 ~ 2004.12 (34개월)
대지면적	49,143 m ²
연면적	211,882.76 m ²
용적률	297.13 %
건폐율	17.27 %
층수	지하 2층, 지상 24 ~ 29층, 옥탑 2층
규모	7개동, 805세대

본 시스템을 현장에 적용하기 전 사용자가 사전에 고려해야 할 사항은 주변지장물의 접촉등과 같은 현장주변여건 파악을 통해 결정하는 지브형태, 지방에 고정할 것인지 구축되는 구조물에 고정할 것인지의 설치방법 및 회전반경, 작업반경, 그리고 현장에서 양중되는 최대 인양하중 및 최대 설치높이 등이 있다.

먼저 지브형태 및 설치방법을 결정하기 위해 고공권 침해나 인접건물에 간섭이 있을 경우를 고려해 보았다. 그 결과 총 7개 동 중 104동은 북측 작업반경에 기존 아파트가 위치해 있으므로 러핑식으로 결정하고 나머지 동에 설치될 크레인은 모두 크롤리식으로 결정하였다.

또한 설치방법은 모두 고정식으로 결정한다. 아래 <표 10>은 양중계획에 관한 실적자료를 토대로 Opt-TC 시스템을 활용하여 최적 크레인을 선정한 결과이며, <그림 19>는 배치도상에 위치한 모습이다.

표 10. 대상프로젝트 Opt-TC 시스템 적용결과

층수	101	102	103	104	105	106	107
지브 형태	크롤리식	크롤리식	크롤리식	러핑식	크롤리식	크롤리식	크롤리식
설치 방법	고정식	고정식	고정식	고정식	고정식	고정식	고정식
회전 반경	56.3m	49.7m	49.7m	50.0m	49.7m	49.7m	49.7m
작업 반경	55.0m	48.3m	48.3m	50.0m	48.3m	48.3m	48.3m
인양물 중량	4.8t	5.9t	5.9t	4.0t	5.9t	5.9t	5.9t
섹션 크기	2.3* 2.3* 4.14	2.3* 2.3* 4.14	2.3* 2.3* 4.14	1.95* 1.95* 3.75	2.3* 2.3* 4.14	2.3* 2.3* 4.14	2.3* 2.3* 4.14
설치 높이	108.7m	108.7m	108.7m	108.7m	108.7m	108.7m	90.0m
횡지지 여부	○	○	○	○	○	○	○
최종 크레인 선정	LIEBHERR ERR 290HC	LIEBHERR ERR 290HC	LIEBHERR ERR 290HC	COMEDIN DIL CTL ²⁵⁰ A16	LIEBHERR ERR 290HC	LIEBHERR ERR 290HC	LIEBHERR ERR 290HC

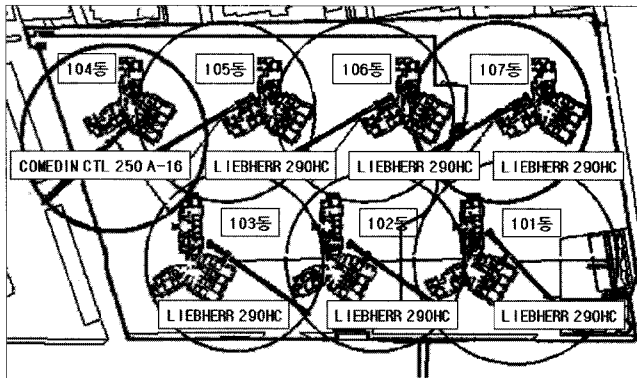


그림 19. 대상프로젝트 T/C 배치도

위 사례적용을 통해 실무현장에서의 Opt-TC 시스템 적용 가능성과 업무처리에 소요되는 시간을 줄이는 신속성 및 작업 효율성을 기대할 수 있었고 예상비용, 의사결정속도, 업무처리 개선효과의 항목별 장점, 기타 효과 및 개선사항은 <표11>과 같다.

표 11. 사례적용을 통한 내용

항목	내용
예상비용	• 초기 시스템 구입비
의사결정속도	• 총 소요시간 약 2 ~ 3시간 소요
기타 효과	• 빠른 업무처리 이외에 초기 가설계획 수립시 효과적인 기초자료를 제공
개선사항	• 보다 많은 종류의 타워크레인 데이터베이스 확보 요구(온라인을 통한 업데이트 필요) • 경제적인 판단근거의 부재(임대료, 유지비용 등)

5. 결론

본 연구는 최근 대형화, 고층화되고 있는 건설프로젝트의 추세에 따라 양중계획의 중요성을 인식하고 최적 타워크레인을 선정함에 있어 Opt-TC 시스템을 제안하였다.

먼저 크레인 선정 및 안정성 검토에 대한 기존의 연구를 분석하여 한계점을 인식하고 이를 보완하기 위해 크레인에 대한 정보 강화, 쉽게 접근할 수 있는 비주얼 제공, 안정성 검토가 동시에 이루어질 수 있는 시스템을 구현하도록 프로세스를 계획하였다.

Opt-TC 시스템은 기초양중계획단계에서 결정된 사항을 토대로 크레인의 지브형태, 설치방법 및 회전반경, 작업반경, 인양물 중량을 포함한 작업조건을 입력한다. 위 결과는 이미 정리된 크레인 데이터베이스를 거쳐 담당자에게 해당 크레인 리스트를 제공한다.

담당자는 해당 크레인의 하중제원을 검토하여 현장조건과 가장 부합한 1차 타워크레인을 선정하고 선정된 크레인은 섹션크기, 자립고, 설치높이와 같은 수용여부를 검토한 후 기초판 설계, 횡지지 보강(필요시), 부재선정의 안정성 검토를 거쳐 최적 타워크레인의 선정과정을 마무리하게 된다.

마지막으로 Opt-TC 시스템을 활용하여 실제 서울시내 고층 아파트 크레인 선정과정을 수행해 보았다. 이를 통해 시스템의 실용가능성 및 선정 작업을 진행함에 있어 소요되는 시간을 현저히 줄일 수 있는 신속성 및 작업효율성을 기대할 수 있었다.

앞으로 본 연구와 관련하여 온/오프라인을 통한 더욱 많은 종류의 크레인 데이터베이스 구축 및 임대가격, 조달조건과 같은 경제적인(economic) 측면의 검토사항이 보강된다면 실무현장에서 보다 실용적이고 효율적인 크레인 선정시스템이 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 고광일, 오우훈, 이은택 (2006). "건축용 타워크레인 마스트의 횡방향 지지요소인 월타이 부재력 특성곡선." 한국강구조학회 논문집, 제18권 제6호, 한국강구조학회, pp. 697~706.
2. 구분희 (2006). "한국의 타워크레인 기술동향 및 안전대책." 제5회 한중일 국제 크레인 심포지엄 발표자료.
3. 김정진, 최인성 (2005). "초고층 건축공사의 양중계획 시스템에 관한 연구." 한국건축시공학회 논문집, 제5권 제4호, 한국건축시공학회, pp. 121~129.

4. 김훈 (2000). "고층건축공사의 리프트 선정 의사결정 모델에 대한 연구." 한양대학교 석사논문.
5. 박길재, 장명훈, 이현수 (2001). "고층 건축공사에 있어 자재양중계획의 최적화방안." 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), 제21권 제2호, 대한건축학회, pp. 515~518.
6. 손상현 (2003). "초고층 양중계획." 한국 초고층 건축 포럼 발표자료.
7. 안주옥, 서영갑 (2004). 철근 콘크리트 공학, 사이텍미디어, 서울, pp. 432.
8. 이명구, 노민래 (2001). "타워크레인 붕괴사고의 구조적 분석." 한국산업안전학회 논문집, 제16권 제4호, 한국산업안전학회, pp. 147~152.
9. 이명구, 노민래 (2000). "기초앵커 불량시공에 따른 타워크레인 사고의 원인분석." 한국산업안전학회 추계학술발표회 논문집, 한국산업안전학회, pp. 411~416.
10. 이병구, 설종협 (2002). "Tower Crane 설치계획 및 구조보강 방법 소개." 건설기술, 제23권, 쌍용건설 기술연구소, pp. 33~37.
11. 이용균, 김재엽, 서덕석, 강경인 (2004). "유전자 알고리즘 모델을 활용한 양중계획 합리화 방안." 대한건축학회 논문집(구조계), 제20권 제2호, 대한건축학회, pp. 127~134.
12. 이현수, 채희동, 장명훈 (2002). "고층건축공사의 타워크레인 계획 프로세스 개발." 대한건축학회 논문집(구조계), 제18권 제6호, 대한건축학회, pp. 119~126
13. 주진호, 이덕찬, 신현식 (1994). "고층건축공사에 있어서 타워 크레인의 최적위치선정 방안에 관한 연구." 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), 제12권 제1호, 대한건축학회, pp. 491~494.
14. 허담, 이덕찬, 손창백, 신현식 (1994). "고층 건축공사의 양중계획 최적화 방안에 관한 연구(1)." 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), 제14권 제2호, 대한건축학회, pp. 779~784.
15. Aviad Shapira, Jay D. Glascock (1996). "Culture of Using Mobile Cranes for Building Construction." J. of Construction Engineering and Management, V.122 N.4, ASCE, pp. 298~307.
16. Colin Gray, James Little (1985). "A Systematic Approach to the Selection of an Appropriate Crane for a Construction Site." Construction Management and Economics, 3, pp. 121~144.
17. Kuo-Liang Lin, Carl T. Haas (1996). "An Interactive Planning Environment for Critical Operations." J. of Construction Engineering and Management, V.122 N.3, ASCE, pp. 212~222.
18. Kuo-Liang Lin, Carl T. Haas (1996). "Multiple Heavy Lifts Optimization." J. of Construction Engineering and Management, V.122 N.4, ASCE, pp. 354~362.
19. J. E. Beavers, P.E., F.ASCE, J. R. Moore, R. Rinehart, W. R. Schriver (2006). "Crane-Related Fatalities in the Construction Industry." J. of Construction Engineering and Management, V.132 N.9, ASCE, pp. 901~910.
20. Shuzo Furusaka, Colin Gray (1984). "A Model for the Selection of the Optimum Crane for Construction Sites." Construction Management and Economics, 2, pp. 157~176.
21. W. T. Leung, C. M. Tam (1999). "Models for Assessing Hoisting Times of Tower Cranes." J. of Construction Engineering and Management, V.125 N.69, ASCE, pp. 385~391.

논문제출일: 2007.09.13

심사완료일: 2007.10.30

Abstract

The efficient vertical lift planning has been brought into relief in high-rise building construction projects. Particularly, the selection and stability examination of the tower cranes is the most important elements in vertical lift planning. Therefore, professional knowledge is needed to full fill the site condition for the plan. However, there are short of the number of specialists and information about tower cranes. This study proposes a system for the selection of the optimum tower cranes (Opt-TC) in high-rise building construction projects. The Opt-TC can give the selection and stability examination of tower cranes at once in real-time.

Keywords : Tower Crane, Stability Examination, Vertical Lift Planning
