KJCEM 13. 5, 135~143
SEPTEMBER 30, 2012

www.kicem.or.kr (pISSN 2005-6095)
http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.5.135

# 초고층 건축물 리프트카 양중계획수립을 위한 자원기반의 양중부하 산정 모형

## A computation model for Resource-based Lifting loads of the lift-cars for super high-rise buildings

한 충 희* 이 준 복** 원 서 경***
Han, Choong-Hee Lee, Junbok Won, Seo-Kyung

**Abstract**

Constructing super-tall buildings is significantly different from constructing general ones in every technological and managerial aspects. Especially lift-car operations planning and management is one of core parts among various management techniques required during the course of the whole construction process of the super-tall buildings because vertical movements of physical resources enormously affect the efficiency of the construction processes. However, discrepancy between lifting plans and actual lifting operations causes serious efficiency problems. As an effort to solve the problem, this research suggests an improved method of estimating resource-based lifting load. The computing model developed as a result of this research facilitates more accurate computation of the total operation time and the maximum lifting capacity of the lift-cars. Further, this research can be developed as a decision support system for the total lift-car operations management.

Keywords : *SUPER-TALL BUILDING CONSTRUCTION, RESOURCE MANAGEMENT, LIFT CAR, LIFTING LOAD COMPUTATION*

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

양중계획 및 관리는 초고층 공사 시 가장 핵심적인 관리 분야 중 하나이다. 즉 건설공사에 필요한 자재와 인원 등의 자원을 타워크레인과 리프트카로 대별되는 양중장비를 이용하여 최적의 수직 물류관리가 될 수 있도록 하는 시공 가설계획이다(조지훈 2009). 그러나 현행 리프트카 선정 방식은 건축물의 연면적을 기준으로 양중부하를 산정하고 대수를 결정하는 방식이 주로 사용된다. 이는 프로젝트 초기에 짧은 시간 동안 개략적인 장비조합을 결정하기에는 좋은 방법이나 초고층 프로젝트와 같이 장기적이고 대규모 공사에는 부족함이 있다. 또한 초기 공정계획이 시공 중 변경될 수 있으므로 이를 양중장비 운영과 상호적(Interactive)으로 수용할 수 있는 유연한 산정방식에 대한 연구가 지속적으로 수행되어 왔다. 본 연구에서는 양중작업에 사용되는 리프트카를 대상으로 건축마감공사의 물량에 근거한 양중부하 산정 방법 및 예측 모델을 제시하고자 한다. 이는 초기 양중계획 수립 시 리프트카 장비조합 및 시공 중 양중장비 운영 효율 향상을 위한 의사결정을 지원하는 모델을 개발하기 위한 사전 연구이다.

*종신회원, 경희대학교 건축공학과 교수, chhan@khu.ac.kr
**종신회원, 경희대학교 건축공학과 부교수, leejb@khu.ac.kr
***일반회원, 경희대학교 건축공학과 박사후연구원, 공학박사(교신저자), kcem@khu.ac.kr
이 논문은 2010년도 경희대학교 연구년 지원에 의한 결과임

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 초고층 프로젝트의 건축마감공사 기간 중 공정계획과 양중계획을 연계한 효율적인 시공관리를 위해서 리프트카를 대상으로 투입자원의 양중부하 산정방식을 제안하고 예측하여, 최종적으로 이를 이용한 리프트카 양중계획 수립을 위한 의사결정 모델을 수립하고자 하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 다음과 같이 연구의 범위를 한정하였다.

1) 본 연구에서의 양중계획 모델의 범위는 공종별 투입 자원을 양중 패키지로 변환한 리프트카의 양중부하 산정, 양중사이클타임을 근거로 한 양중소요시간, 공종별 작업일정과 수직조닝을 근거로 한 장비운영효율 검토로 한정한다.

2) 본 연구에서 분석대상으로 하는 마감공사 공종은 건축마감공사로 한정하며 그 중에서도 프로젝트별로 큰 변동없이 시공되는 공종을 대상으로 하였으며, 기계, 전기, 설비 공종은 제외한다. 이는 (1) 근래 초고층 공사의 경향상 마감공사의 수준에 따라 기계, 전기, 설비 공종 자재의 종류와 수량에 차이가 많이 발생하여 일반화하는 데 어려움이 있고, (2) 프로젝트 별로 시공 유무와 시공 물량의 변동이 심한 일부 건축공종의 경우는 연구의 효율을 위해 배제하였다.

3) 초고층 건축물의 유형 중 본 연구에서는 주거형 초고층 건축물을 대상으로 하였다. 주거형과 사무형은 내부 마감자재가 상이하여 자재의 종류와 수량에 차이가 매우 크다. 국내 주거형의 경우 온돌난방 관련 공종이 추가되며, 최종 인테리어 마감재까지 그 종류와 수량이 현저하게 증가하게 된다. 본 연구의 목적에 비추어 리프트카 양중 대상 물량이 많고 운영상의 변수가 다양한 주거형 초고층을 대상으로 모델을 구축하게 되면 사무형 초고층에도 적용 가능할 것으로 판단하였다.

## 2. 예비적 고찰

초고층 공사의 양중계획 및 관리, 양중장비 등과 관련이 있는 최근 10년 정도의 국내외 연구 결과를 수집하여 분석한 결과 주요 내용은 다음과 같이 대별할 수 있다.

1) 양중계획 수립 프로세스 및 영향인자 도출
2) 골조공사와 연계한 타워크레인 장비 선정
3) 골조공기 단축을 위한 층당 공기 산정 및 분석
4) 리프트카 인원 및 자재의 이동을 위한 부하 및 대수 산정
5) 가상 프로젝트 및 Pilot 프로젝트를 대상으로 한 리프트카 조합

본 연구에서는 이를 '초고층 양중계획 및 관리에 관한 연구'와 '초고층 리프트카의 양중부하 및 장비조합에 관한 연구'로 대별하여 선행 연구를 고찰하였다.

### 2.1 초고층 건축물의 양중계획 및 관리

초고층 건축공사의 경우 수직이동거리가 길어짐에 따라 자재 및 장비의 효율적인 운영을 위한 양중계획은 공사의 품질과 속도를 결정하는 데 있어 가장 중요하다. 양중계획은 건축물 층수가 높아질수록, 작업 및 자재의 종류가 다양할수록 더욱 체계적으로 수립되어야 한다. 즉 양중계획은 리프트카의 운영 효율을 증대시킴과 동시에 공사기간과 공사비, 안전성을 함께 고려하여야 한다. 일반적인 마감자재 양중계획의 주요 내용은 수직구역 나누기, 양중장비의 기종 선정, 대수 및 설치 위치의 결정 등이다. 이는 시공계획 수립 시 거의 결정되며, 공사가 시작되면 계획 변경이 매우 어렵다는 특징을 가지고 있다. 왜냐하면 이 경우 양중장비 발주, 기 설치된 장비의 해체작업, 신 장비의 설치작업 등으로 인한 시간적 · 물질적 손실이 매우 크기 때문이다. 양중장비 선정은 각 액티비티들의 작업속도, 전체 공기, 공사비용 등과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 시공하고자 하는 건축물이 고층화될수록 그 중요성이 강조된다. 본 연구와의 차별성 및 참고문헌으로 삼은 기존 연구는 다음과 같다.

표 1. 초고층 건축물의 양중장비 및 계획에 관한 선행연구

| 연구자 | 연구 항목 | 주요 연구 내용 |
|---|---|---|
| 조지훈 외 1인 (2009) | 초고층 양중장비선정 | -프로젝트 공사기간과 연계된 극초고층 현장의 양중 장비인 타워크레인 선정 시스템 개발 및 적용 |
| 김진호 (2007) | 양중계획 정보관리 | -양중계획 입안 메커니즘 고찰<br>-초고층 현장 양중계획 중심의 프로젝트관리 실태조사<br>-프로젝트 정보관리시스템 개념 구축 |
| 김정진 외 1인 (2005) | 양중계획 시스템 | -양중계획의 영향요소 및 수립절차 분석<br>-국내 현장의 사례조사를 통한 문제점 도출<br>-객관적인 기준과 체계를 활용한 양중계획 시스템 개발 |
| 안병주 (2004) | 이산형 시뮬레이션 | -작업원 수직이동계획 프로세스의 제안<br>-이산형 시뮬레이션을 사용한 작업원 수직이동계획 수립과 검증 |
| 정연우 외 3인 (2004) | 양중부하 분배 | -초고층 건축공사에서 양중 부하중심의 작업내용 분석<br>-국내 초고층 공사 현황 조사를 양중의 문제점 개선 |
| 홍영탁 외 3인 (2004) | 공기 영향요인 | -FMEA법을 이용한 골조공기영향요인 도출<br>-공기지연 영향요인 평가프로세스 제안 및 효용성 검증 |
| 이형수 외 3인 (2004) | 조달 및 양중시스템 | -사례조사를 통한 조달 및 양중작업 문제점 분석<br>-양중계획 업무흐름 개선방안 제시 |
| 문민식 외 3인 (2003) | 마감자재 양중횟수 | -대표 마감자재의 양중횟수산정 및 마감자재별 양중 형식 파악<br>-사례조사를 통한 양중횟수 산출 및 통계분석을 통한 약산식 제안 |

### 2.2 리프트카 양중부하 산정방식

양중장비의 선택은 양중부하와 밀접한 관계를 가지고 있다. 여기서 양중부하란 양중장비의 수직이동 횟수를 의미한다. 이것은 각 액티비티에 소요되는 각종 자재량, 공사 후의 잔재량, 작업원수 등에 의해서 결정된다. 최대양중부하란 일정 기간별로 구분하여 취합한 마감자재의 양중부하들 중에서 가장 큰 값인데, 양중계획은 이를 감당할 수 있어야만 한다. 만약 양중계획이 최대양중부하를 감당할 수 없을 경우에는 공정계획 수정, 자원의 평준화, 양중계획 수정 등을 실시함으로써 공사 수행기간동안에 양중장비들이 최대양중부하를 감당하도록 계획을 수정해야만 한다(손상현 2009). 현재 대부분의 건설업체에서 사용하는 리프트카 대수 및 용량 산정을 위한 양중부하 산정 방식은 크게 두 가지로 나뉜다.

1) 단위 면적당 약산식(略算式)을 이용한 양중부하 산정 방식

이 방법은 전체 연면적을 구하여 이를 단위 면적($m^2$)을 기준으로 한 변환 상수로 나누어 양중용량을 산출하는 방법이다. 즉 리프트카 설치가 요구되는 층의 연면적을 변환 상수로 나누어 인원 및 자재의 양중부하를 산정하여 리프트카의 대수를 산정하는 방법이다.

2) 인원 및 자재 양중부하 산출 후 개산식(槪算式)을 이용한 양중부하 산정 방식

두 번째 방식은 인원 및 자재의 물량을 합산하여 이를 개략적인 산정식을 이용하여 리프트카의 대수를 산정하는 방식이다. 두 가지 방법은 전문가의 경험과 직관에 의해 양중부하를 산정한 후 오차를 보정하는 방식으로 쓰이며, 부정확성을 감안하여 어느 정도 여유있게 용량을 산정하는 경우가 많다. 이는 리프트카 장비 조합 및 운영 시 비용과 운영 효율의 문제를 야기하는 경우가 있다. 기존 양중부하 산정방식과 자원기반의 양중부하 산정방식[1]의 차별성은 다음 [표 2]와 같다.

표 2. 양중부하 산정방식의 차이

| 구분 | | 기존 방식 (AS-IS) | 본 연구방법 (ReLC) |
|---|---|---|---|
| 피크타임 양중부하 | 인원 | 총 연면적÷0.06인 (인/$m^2$=0.06) | - 공정표를 이용한 공종별 투입 인원 분석<br>- 물량에 근거한 투입 인원의 변동 범위 설정<br>- 양중부하, 양중사이클타임, 양중소요시간 산정 |
| | 자재 | 총 연면적÷0.45ton (ton/$m^2$=0.45) | - 공정표를 이용한 공종별 대표 자재 물량 분석<br>- 물량에 근거한 투입 자재의 변동 범위 설정<br>- 양중부하, 양중사이클타임, 양중소요시간 산정 |
| 리프트카효율 | 상승 | 최고속도의 70% 적용 | - 현장 조건에 따라 60~80% 범위 내 설정 가능 |
| | 하강 | 최고속도의 80% 적용 | |
| | 상하차 | 현장 설정 | - 현장 조건(0.5~5min/floor) 설정 |

1) ReLC : Resource-based Lifting Load Computation

### 2.3 기존 양중계획의 한계 및 문제점

고찰 결과 기존 양중계획의 한계 및 문제점은 다음과 같이 요약된다.

1) 양중부하 산정에 있어 연면적을 기준으로 한 약산식 사용의 문제점이다. 이는 인원 및 자재의 양중부하를 산정할 때, 시간과 비용 대비 간략한 방식이다. 그러나 양중장비를 현장에서 운영하는 데 있어 공정계획과 연계된 요구정보를 적절히 제공하지 못하고 있다. 또한 투입되는 자원의 양을 리프트카를 이용한 양중횟수로 치환하지 못하고 있다. 따라서 계획한 투입 물량과 양중소요시간 사이에 큰 차이가 발생하는 경우가 있다. 그 결과 현장에서는 장비 설치 및 운행 시 추가적인 시간과 인원을 투자하여 계획을 수정하는 실정이며, 양중장비 운영 효율에 문제가 있는 경우에는 원가 및 공정관리에도 영향을 받게 된다.

2) 현장에서는 초기 시공계획의 변경으로 인한 계획의 수정이 종종 필요하다. 초고층 프로젝트의 경우 양중계획의 정보와 데이터가 이러한 계획 수정을 위한 의사결정을 지원할 수 있다. 따라서 각 공종별 인원 및 자재에 관한 양중부하, 양중사이클타임, 양중장비의 운영효율 등에 관한 정보와 데이터를 제공할 수 있는 방식으로의 개선이 요구된다.

3) 공사 피크타임 시 리프트카의 양중부하 또한 최고조에 달하게 된다. 기존 방식은 이 시기와 부하의 양을 정확히 산정하거나 예측하기 어려우며, 따라서 자원할당 및 레벨링을 위한 별도의 작업이 필요하다는 문제점이 있다.

## 3. 자원기반의 리프트카 양중부하 산정

### 3.1 리프트카 양중부하 산정프로세스 및 영향인자

초고층 건축물 리프트카의 양중계획 수립을 위한 프로세스와 영향인자는 다음 그림과 같이 나타낼 수 있다.

본 연구에서는 양중재 수량산출은 내역물량을 근거로 하였다. 또한 양중부하 산정은 인원 및 자재를 분리하여 계산하였으며 자세한 내용은 아래에서 설명된다.

본 연구에서는 의사결정을 위한 양중부하 산정모형까지로 연구의 범위를 제한하였다.

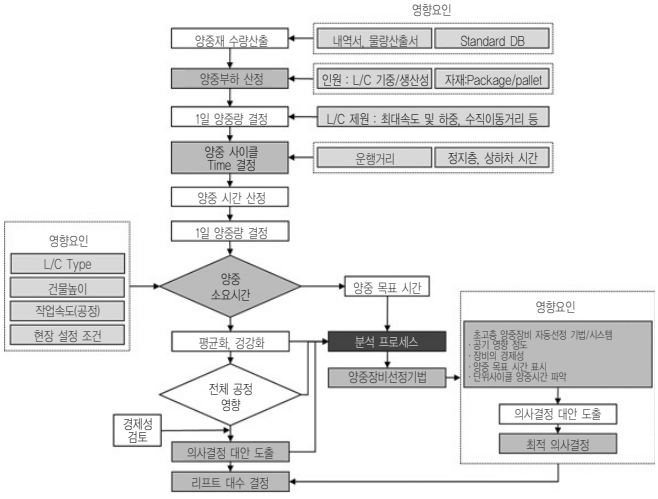


그림 1. 리프트카 양중부하 산정 프로세스 및 영향인자

## 3.2 리프트카 양중부하 산정식

### 3.2.1 인원(Manpower) 양중부하 산정방식

초고층 건축물 마감공사의 인원에 대한 리프트카 양중부하 산정은 다음 [그림 2]와 같은 순서로 수행하였다.

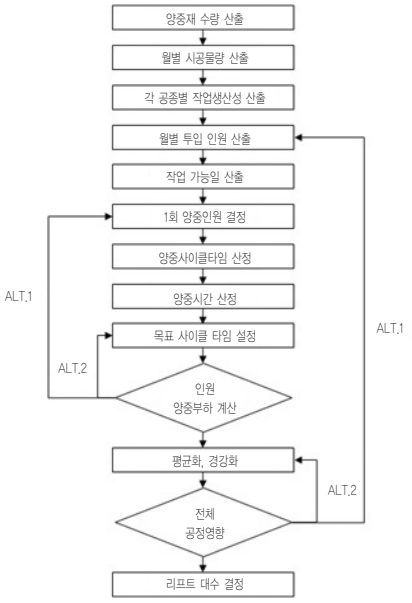


그림 2. 인원(manpower) 양중부하 산정 로직

주요 고려 사항은 다음과 같다.

- 양중재 수량 및 월별 시공물량 산출
- 작업생산성 및 월별 투입 인원 산출
- 1회 양중가능 인원
- 목표 사이클 타임 설정
- 자원 평균화 및 경감화

본 연구에서 리프트카를 이용한 인원 양중에 관한 부하 계산은 다음과 같은 방식으로 수행하였다. 먼저 해당 월별 양중 인원을 산출한 다음 작업 가능일수에 맞추어 일일 양중 인원을 구하는 방법을 사용한다. 그 이후 리프트카 용량을 적용하여 소요시간 및 양중 가능 적정성 여부를 확인한다.

1) 용어

- 대표 자재 ($M_n$, $n=1,2,3....n$)
- 자재별 총 시공 물량 ($Q_n$, $n=1,2,3....n$)
- 해당 자재의 작업 기간 ($DM_n$, $n=1,2,3....n$)
- 자재별 월 시공 물량 (Quantity/month, $Qm_n$, $n=1,2,3....n$)
- 자재별 시공 생산성 (Productivity, $P_n$, $n=1,2,3....n$)
- 월별 투입 인원 (Required Manpower, $Rm_n$, $n=1,2,3....n$)
- 작업 가능일수 (Working Day, Wd)
- 일일 양중부하 (Manpower per Day, Mnd)

2) 인원 양중부하 산정

작업 인원에 대한 양중부하 산정식은 다음과 같다.

$$M_{nd} = \frac{R_m}{W_d} \qquad \text{식 (1)}$$

이 중 특정 대표 자재(M1)의 월별 투입인원(Rm1)의 계산은 다음과 같이 수행될 수 있다.

$$R_{m1} = \frac{Q_{m1}}{P_d} \qquad \text{식 (2)}$$

다시 이 식의 자재별 월 시공량(Qm1)의 계산은 다음과 같이 실시하였다.

$$Q_{m1} = \frac{Q_1}{DM_1} \qquad \text{식 (3)}$$

이와 같은 방법으로 자재 $M_1$~$M_n$까지의 월별/일별 양중대상 인원을 산정할 수 있으며, 이 인원의 합을 현장에 설치된(혹은 설치할) 리프트카 용량에 입력하여 소요 시간 및 설정된 시간 내 운송 가능 여부를 평가할 수 있다.

### 3.2.2 자재(Material) 양중부하 산정방식

초고층 건축물 리프트카 양중부하 중 자재에 대한 양중부하 산정은 다음 그림과 같은 순서로 수행되었다.

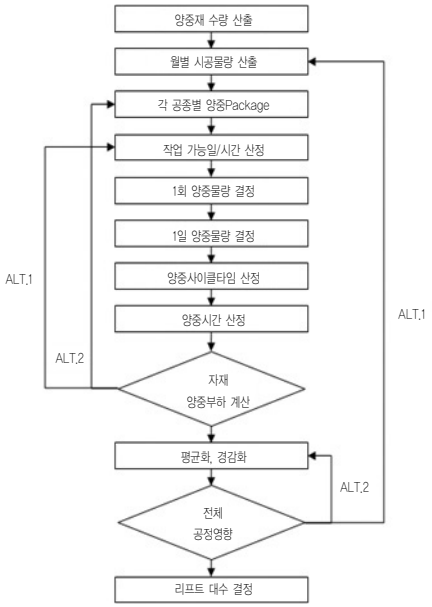


그림 3. 자재(Material) 양중부하 산정 로직

주요 고려 사항은 다음과 같다.

- 양중재 수량 및 월별 시공물량 산출
- 양중패키지(Package) 형식 설정
- 1회 양중물량 및 일일 양중물량 산출
- 양중사이클타임(cycle time) 및 양중 소요시간 설정

리프트카(L/C)를 이용한 자재 양중에 관한 부하 계산은 해당 월별 양중 물량을 산출한 다음 양중 패키지 형식에 따른 양중 횟수를 산출하였다. 그 이후 리프트카 용량을 적용하여 소요시간 및 양중 가능 적정성 여부를 확인한다.

1) 용어

- 대표 자재 ($M_n$, $n=1,2,3....n$)
- 자재별 총 시공 물량 ($Q_n$, $n=1,2,3....n$)
- 해당 자재의 작업 기간 ($DM_n$, $n=1,2,3....n$)
- 자재별 월 시공 물량 (Quantity/month, $Qm_n$, $n=1,2,3....n$)
- 자재별 양중 패키지 형식 (Package, $PC_n$, $n=1,2,3....n$)
- 자재의 월별 운송 횟수 (Required Trip, $Rt_n$, $n=1,2,3....n$)
- 작업 가능일수 (Working Day, Wd)
- 일일 양중횟수 (Trip per Day, Td)

2) 자재 양중부하 산정

자재에 대한 양중부하 산정식은 다음과 같다.

$$T_d = \frac{R_{tn}}{W_d} \qquad \text{식 (4)}$$

이 중 특정 대표 자재(M1)의 월별 운송 횟수(Rt1)의 계산은 다음과 같이 수행될 수 있다.

$$Rt_1 = \frac{Q_{m1}}{PC_d} \qquad \text{식 (5)}$$

다시 이 식의 자재별 월 시공량(Qm1)의 계산은 다음과 같이 실시하였다.

$$Q_{m1} = \frac{Q_1}{DM_1} \qquad \text{식 (6)}$$

이와 같은 방법으로 자재 $M_1$~$M_n$까지의 월별/일별로 양중할 자재량을 산정할 수 있으며, 이 부하의 합계를 현장에 설치된(혹은 설치할) 리프트카 용량에 입력하여 소요 시간 및 설정된 시간 내 운송 가능 여부를 평가할 수 있다.

### 3.3 양중사이클타임 산정

연구의 효율성을 위하여 양중사이클 타임 산정을 위한 몇 가지 전제 조건을 설정하였다.

① L/C 최고 운행 속도(LV):100m/min
② 상하차 시간(Lt) : 0.5~5 min (0.5min 단위로 증가)
③ L/C 운행 효율(LE) : 75%

수식은 앞서 제안한 수식 및 상기의 약어를 기준으로 하며, 전체 층을 대상으로 한 리프트카의 양중 사이클타임 산정식은 다음과 같다.

양중사이클타임($T_L$)

$$= \{(H \times 2) \div L_V + (L_t \times n)\} \div L_E \qquad \text{식 (7)}$$

이 식을 토대로 초고층 건축물의 골조 높이가 증가함에 따른 리프트카 운행시간을 산정하여 양중사이클타임을 산정할 수 있다.

## 4. 리프트카 양중계획 예측모형

본 연구에서의 리프트카 양중계획 수립 시의 예측모형은 아래 그림에서와 같이 나타나며, 연구 범위의 제한에 따라 본 연구에서는 이중 1~4단계까지를 대상으로 하며, 5~6단계는 후속 연구에서 수행할 예정이다.

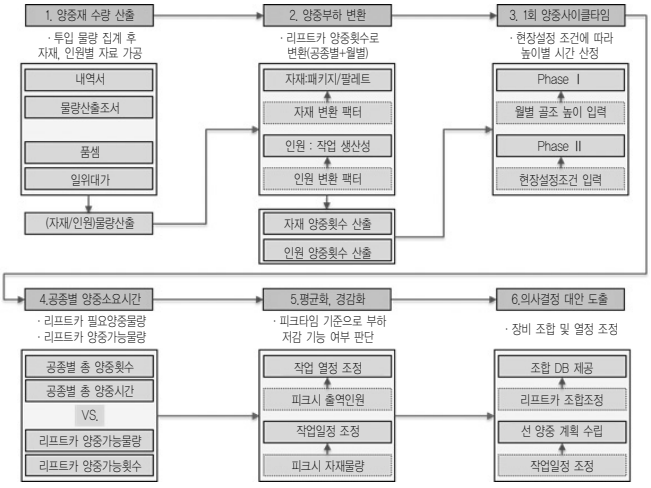


그림 4. 리프트카 양중계획 예측 모형 수립절차 및 주요 고려사항

## 4.1 적용 현장 개요

앞서 기술한 내용을 사례 현장을 선정하여 [그림 4]와 같은 순서로 적용하여 검증하기 위해 국내외 시공 중인 초고층 현장을 조사하여 그 중 적절한 규모인 국내 초고층 현장을 선정하였다. 선정된 적용 현장의 개요는 다음과 같다. 부산 해운대구에 위치한 당 현장은 국내 D사가 시공을 맡은 지하 5층, 지상 70, 75, 80층의 3개동으로 이루어진 주상복합용도의 초고층건물이며 최고높이는 300m에 달한다. 이 중 80층 1개동을 대상으로 연구내

표 3. 유사 프로젝트와 사례 현장 비교

| 프로젝트 | 층 | 기준층 면적 | 세대 타입 | 세대수 |
|---|---|---|---|---|
| 사례 현장 | 80 | 2,378 | 15 | 628 |
| A Project | 64 | 1,198 | 16 | 350 |
| B Project | 66 | 1,261 | 9 | 335 |
| C Project | 60 | 1,109 | 9 | 253 |

용을 적용하였다.

총 3개 동 중에서 A동은 80층, 300m로 가장 고층이며, 세대수는 628세대이다. [표 3]에서와 같이 유사 현장에 비해 기준층 기준의 1개 층 면적이 넓고 세대수가 많으며, 다른 동과 동일한 공법 및 기술로 시공되므로 전체 동을 대상으로 하지 않고, 한개 동을 대상으로 양중부하를 분석하기로 하였다.

표 4. A동의 층별 용도 및 층고 정보

| 구분 | | 층수 | 층고 (m) 각 층 | 층고 (m) 소계 | 용도 |
|---|---|---|---|---|---|
| 부위 주동부 골조 (비기준층) | | 중층 | 1.0 | 1.0 | |
| | | 1 | 6.6 | 6.6 | |
| | | 2 | 4.95 | 4.95 | |
| 기준층 | 주동부 골조 (고층부) | 3~20 | 3.3 | 59.4 | |
| | | 21 | 7.15 | 7.15 | MEP |
| | | 22~46 | 3.3 | 82.5 | |
| | | – | 0.55 | 0.55 | Pipe Transfer |
| | | 47~55 | 3.3 | 29.7 | |
| 주동부 골조(고층부) 계 | | | | 191.85 | |
| 주동부 골조 (초고층부) | | 56~57 | 3.3 | 6.6 | |
| | | 58 | 7.15 | 7.15 | MEP |
| | | 59~70 | 3.3 | 39.6 | |
| | | – | 2.2 | 2.2 | MEP |
| | | 71~73 | 3.85 | 11.55 | |
| | | – | 0.55 | 0.55 | Pipe Transfer |
| | | 74~80 | 3.85 | 26.95 | |
| | | – | 2.2 | 2.2 | MEP |
| 주동부 골조(초고층부) 계 | | | | 96.8 | |
| 합 계 | | | | 288.65 | |

분석 대상 동으로 선정한 A동의 층별 정보는 [표 4]와 같다.

## 4.2 양중재 수량 산출

본 연구에서 제안한 인원 및 자재의 양중부하 산정방식을 사례 현장에 적용하기 위하여 내역서 등 물량 자료를 수집 · 분석하였다. 리프트카를 이용한 양중 시 부하에 큰 영향을 주는 건축마감자재를 취합하여 이 중 대부분의 현장에서 공통적으로 사용되는 일반적인 자재를 대표자재라 칭하였다.

표 5. 대표자재(건축마감공사) 및 물량 분석

| No. | ITEM | Unit | Quantity |
|---|---|---|---|
| 1 | 시멘트벽돌 | 매 | 87,309 |
| 2 | 시멘트 | KG | 17,181 |
| 3 | 모래 | M3 | 776 |
| 4 | 레미탈 | 포 | 71,802 |
| 5 | 경량콘크리트판넬 | M3 | 539 |
| 6 | 단열재 | M3 | 220 |
| 7 | 타일 | M2 | 53,371 |
| 8 | 석재 | M3 | 1,109 |
| 9 | 우레탄방수제 | KG | 308,577 |
| 10 | 우레탄방수제 | L | 59,727 |
| 11 | 층간소음방지재 | M3 | 1,790 |
| 12 | 그라스울흡음보드 | M3 | 6,689 |
| 13 | 페인트 | L | 19,413 |
| 14 | 석고보드 | M2 | 756,934 |
| 15 | 합판, MDF | M2 | 93,587 |
| 16 | 스터드,런너 | M | 738,425 |
| 17 | 경량철골천정틀 | M | 548,772 |
| 18 | 도배지 | M2 | 141,025 |
| 19 | 철재창호 | EA | 3,413 |
| 20 | 세대목창호 | EA | 3,708 |
| 21 | 온돌마루 | M2 | 34,113 |

내부 마감공사 및 인테리어 공사 물량을 합산하여 정리하면 [표 5]와 같다.

### 4.3 인원 및 자재 양중부하 변환

무엇보다 기존 연구에서는 인원 및 자재의 물량을 리프트카의 양중부하로 치환하는 방안을 적절히 제시하지 못하고 있다. 본 연구에서는 인원은 작업 생산성(productivity), 자재는 팔레트 등을 이용한 양중패키지(package)를 근거로 한 변환 상수를 제시하였다.

표 6. 투입물량의 양중부하로의 변환

| 구분 | 공종 및 자재 | 투입물량 단위 | 인원 (생산성) | 자재 (패키지) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 조적공사 | $m^2$ | 3.5 | 5.12 |
| 2 | 미장공사 | $m^2$ | 8.7 | 8.7 |
| 3 | 커튼월공사 | unit | 3 | 4 |
| 4 | 경량Con'c판넬공사 | $m^2$ | 3.5 | 5.12 |
| 5 | 석고보드 | $m^2$ | 2.5 | 46 |
| 6 | 런너 및 스터드 | m | 7 | 154 |
| 7 | 방수공사 | $m^2$ | 30 | 30 |
| 8 | 석공사 | $m^2$ | 10 | 25 |
| 9 | 타일공사 | $m^2$ | 10 | 25 |
| 10 | 경량철골 천정틀공사 | $m^2$ | 6.4 | 12.4 |
| 11 | 천정마감공사 | $m^2$ | 4.5 | 46 |
| 12 | 도장공사 | $m^2$ | 17.2 | 16 |
| 13 | 가구 및 주방가구 | ea | 1 | 4 |
| 14 | 세대 목창호공사 | ea | 4 | 4 |
| 15 | 도배공사 | $m^2$ | 80 | 25 |
| 16 | 철재창호공사 | ea | 15 | 4 |
| 17 | 온돌마루공사 | $m^2$ | 10 | 15 |

위 [표 6]에서와 같은 변환 상수는 국내 5개 초고층 현장의 실 투입 물량 조사 및 분석하여 자재의 경우는 각 공종별 양중팔레트 기준으로, 인원의 경우 가장 사용성이 높은 리프트카 탑승 인원수로 나누어 산정한 것이다. 이 과정을 거치면 현장 투입 물량을 리프트카를 이용한 양중부하로 변화할 수 있게 된다.

### 4.4 양중부하 및 양중사이클타임 산정

인원 및 자재에 대한 정확한 리프트카 양중부하 산정을 위해서는 각각의 일회 왕복에 소요되는 양중사이클타임을 먼저 명확히 할 필요가 있다.

#### 4.4.1 산정을 위한 제약조건

리프트카 운행시간의 산정은 계산식을 통해 도출될 수 있으나, 이는 완전하다고 볼 수 없다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 골조공사가 진행되는 기간 중에는 골조 높이와 정지층의 설정(즉, 운행 중 정지층의 수)에 따라 시간이 달라지게 된다. 따라서 본 연구에서는 마감공사와 골조공사가 동시에 진행되는 시기(Phase I)과 골조공사 완료 이후 마감공사만 진행되는 시기(Phase II)로 나누어 측정하였다. 둘째, 리프트카의 가감속 시간은 본 연구에서는 배제하기로 하였다. 이는 본 연구의 사례에서 정지층 수를 설정하는 조건에 따라 리프트카의 가감속 시간이 전체 운행시간에 미치는 영향이 미미하기 때문이다.

#### 4.4.2 인원 및 자재의 양중부하 산정

먼저 인원 및 자재 각각의 물량을 위 표에 따라 변환하여 골조공사 완료 전후의 시기[2]로 구분하여 인원 및 자재의 양중부하를 산정하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 인원 양중부하

해당 기간 동안 출력한 인원에 따라 Phase I,II로 구분하여 본 연구에서 제안한 리프트카 제원에 따라 산정하면 다음과 같다.

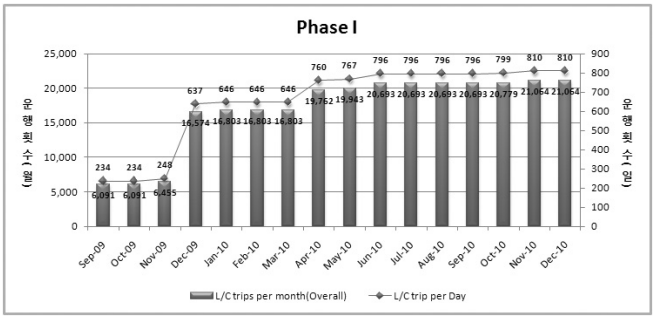


그림 5. 리프트카 인원 양중부하 (Phase I)

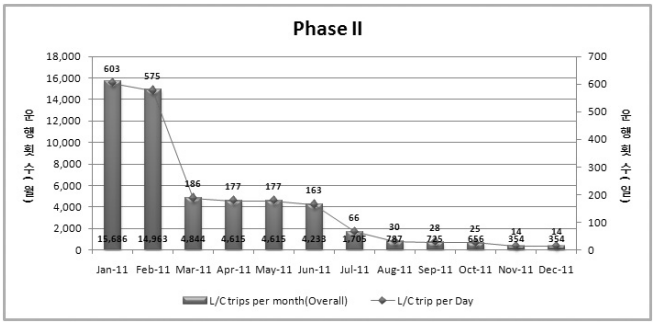


그림 6. 리프트카 인원 양중부하 (Phase II)

[그림 5]는 골조공사 진행 중 월별 인원 투입에 따른 리프트카 양중부하이며, [그림 6]은 골조 완료 이후 준공 시까지의 양중부하이다. 후반부에 부하가 급속히 줄어드는 것은 본설 엘리베이터의 가동에 따른 것이다.

2) Phase I : 골조공사 완료 이전+일부 마감공사 시공
Phase II : 골조공사 완료 이후+마감공사만 시공

2) 자재 양중부하

해당 기간 동안 투입된 자재량에 따라 산정한 결과는 다음과 같다.

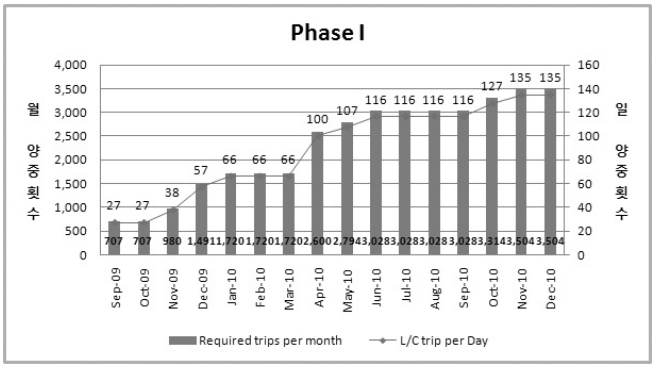


그림 7. 리프트카 자재 양중부하 (Phase Ⅰ)

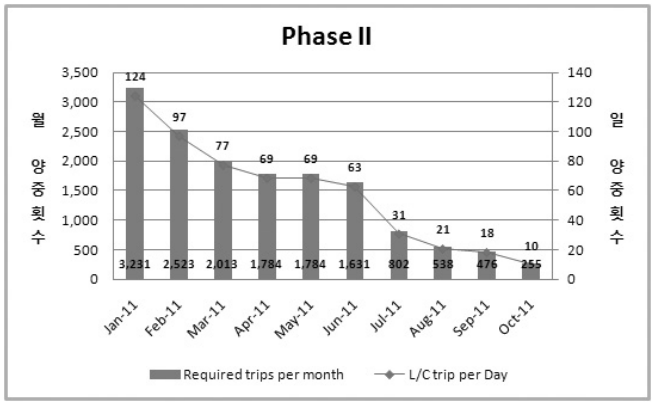


그림 8. 리프트카 자재 양중부하 (Phase Ⅱ)

[그림 7]은 골조공사와 마감공사 병행 시기로 이때 리프트카 양중부하가 최대가 된다. [그림 8]은 골조공사 완료 이후 준공시까지 마감공사만 진행되는 시기로 점차 양중부하가 감소한다.

#### 4.4.3 양중사이클타임

인원 및 자재에 대한 양중사이클타임은 전제조건에 따라 얼마든지 여러 값이 나올 수 있다. 본 본석에서는 정지층에 따라 Case를 나누고, 각 층에서의 상하차 시간(Lt')을 0.5~5.0 min까지 0.5분 단위로 증가시켜 리프트카의 양중물 상하차 시간(Lt)을 분석하면 아래와 같다.

표 7. 리프트카 사이클타임 분석

(단위 : min)

| Lt' | | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Case 1 | Lt | 8.5 | 17.0 | 25.5 | 34.0 | 42.5 | 51.0 | 59.5 | 68.0 | 76.5 | 85.0 |
| | TL | 18.9 | 30.2 | 41.5 | 52.9 | 64.2 | 75.5 | 86.9 | 98.2 | 109.5 | 120.9 |
| Case 2 | Lt | 6.2 | 12.4 | 18.6 | 24.9 | 31.1 | 37.3 | 43.5 | 49.7 | 55.9 | 62.1 |
| | TL | 15.8 | 24.1 | 32.3 | 40.7 | 49.0 | 57.3 | 65.5 | 73.8 | 82.1 | 90.3 |
| Case 3 | Lt | 4.5 | 9.0 | 13.5 | 18.0 | 22.5 | 27.0 | 31.5 | 36.0 | 40.5 | 45.0 |
| | TL | 13.5 | 19.5 | 25.5 | 31.5 | 37.5 | 43.5 | 49.5 | 55.5 | 61.5 | 67.5 |

여기에서 보듯이 정지층 수(n)와 상하차 시간(Lt')의 두 항목의 변화에 따라 최소 4.5~최대 85min까지 차이가 발생함을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구는 초고층 건축물 시공을 위한 사전 양중계획 수립을 위한 의사결정 지원의 근거를 제시하고자 시작하였다. 기존 연구와 사례 조사 결과 양중부하 산정방식의 개선, 계획수립을 위한 시의적절한 정보 및 데이터의 제공, 공정관리와 연계한 리프트카 운영 등에 관한 연구가 요구되었다. 본 연구에서는 자원량을 근거로 한 양중부하 산정방식 및 인원 및 자재를 리프트카의 양중부하로 변환하는 방안을 먼저 제시하였다. 이를 기반으로 양중부하 예측 모형에 의해 리프트카 운행 시간 및 사이클 타임을 계산하여 총 양중장비 가동시간 및 양중가능 물량을 산출할 수 있다. 향후 본 연구를 발전시켜 양중계획 의사결정모델을 구축할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업(09첨단도시A01) 결과의 일부임

## 참고문헌

김경주 · 김경민 · 이상규 (2009). "다중 양중장비와 자재 야적위치의 최적 결정을 위한 모델 개발", 한국건설관리학회 논문집, 제10권 제6호, pp.127~134

김선국 · 한갑규 (2008). "건설 리프트의 적정 대수 산정에 관한 연구", 한국건축시공학회 논문집, 제8권 제3호, pp. 119~125

김정진 · 최인성 (2005). "초고층 건축공사의 양중계획 시스템에 관한 연구", 한국건축시공학회, 제5권 제4호, pp.121~129

김진호 (2007). "사용자참여 방식을 적용한 초고층 집합주택의 생산관리 개념모델", 대한건축학회지회연합회, 제9권 제2호, pp.255~267

김훈 (2000). "고층건축공사의 리프트 선정 의사결정 모델에 관한 연구", 석사학위논문, 한양대학교

문민식 · 최석현 · 현창택 · 구교진 (2003). "마감자재 양중횟수 산정 약산식 제안", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 제4회, pp.622~625

박길재 · 장명훈 · 이현수 (2001). "고층 건축공사에 있어 자재양

중계획의 최적화방안", 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제21권 제2호, pp.515~518
신윤석 (2010). "초고층 건축물 마감공사를 위한 상호작용적 리프트카 양중계획 시스템", 박사학위논문, 고려대학교
안병주 (2004). "이산형 시뮬레이션을 사용한 초고층건물공사 작업원의 수직이동계획", 한국건설관리학회 논문집, 제5권 제2호, pp.47~54
안병주 (2001), "초고층건물공사 마감자재의 수직 · 수평이동계획이 통합된 의사결정모델", 박사학위논문, 한양대학교
원서경 · 조창연 · 조문영 · 이준복 · 한충희 (2010). "초고층 골조공정계획과 연계한 마감공사의 양중부하량 분석", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.353~354
이준복 · 한충희 (2008). "공동주택공사의 건설용 리프트를 이용한 양중계획 타당성 분석", 한국건설관리학회 논문집, 제9권 제3호, pp.185~193
이학주 · 김대원 · 조훈희 · 강경인 (2008). "큐잉이론을 이용한 고층건물 가설리프트 계획모델에 관한 연구", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.635~640
이형수 · 윤유상 · 서상웅 (2004). "건설공사의 자재관리 효율화를 위한 조달 및 양중시스템 기반구축에 관한 연구", 한국건설관리학회 논문집, 제5권 제1호, pp.133~139
조지훈 · 조홍구 (2009). "프로젝트 공사기간과 연계된 극 초고층 타워크레인 최적화 선정에 관한 연구", 한국건축시공학회 논문집, 제9권 6호, pp.131~139
조창연 · 김정렬 · 신윤석 · 조문영 · 원서경 (2010). "초고층 양중시뮬레이션 개발을 위한 Library DB 구축", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.107~108
조창연 · 신윤석 · 원서경 · 김정렬 · 조문영 (2011). "건설 리프트 가감속 능력을 고려한 양중시간 산정 알고리즘 개발", 한국건설관리학회 논문집, 제12권 제6호, pp.120~129
정연우 (2004). "초고층 건축 공사의 효과적인 양중 제안/설비공사 양중부하 분배 개선 방안", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 제5회, pp.539~542
홍영탁 (2005). "FEMA를 이용한 초고층 건축시공의 공기영향요인 평가", 대우건설기술, 통권 제27호, pp.149~163
Kim, D. Y., Han, S. H., and Kim, H. K. (2008). "Discriminant Analysis for Predicting Ranges of Cost Variance in International Construction Projects." J. Constr. Eng. Manage., ASCE, 134(6), pp.398~410
Lee, D. E. (2005). "Probability of project completion using stochastic project scheduling simulation." J. Constr. Eng. Manage., ASCE, 131(3), 310–318
Lee, H. S., Shin, J. W., Park, M. S., and Ryu, H.G (2009). "Probabilistic Duration Estimation Model for High-rise Structural Work." J. Constr. Eng. Manage., ASCE, 135(12), pp.1289~1298

논문제출일: 2012.07.02
논문심사일: 2012.07.06
심사완료일: 2012.08.30

## 요 약

초고층 건축물은 일반적 건축물에 비해, 구조, 환경적 분야 뿐 아니라 시공 분야에서도 골조공사와 마감공사의 시공방법, 재료, 공사관리 등에서 차이점이 있다. 특히 초고층 건축물 시공에서 요구되는 다양한 관리기법 중 양중계획 및 관리는 핵심적인 분야이며, 건설공사에 필요한 인원 및 자재와 같은 자원을 리프트카와 같은 양중기계장비를 이용하여 효율적으로 수직이동하여야 한다. 그러나 리프트카의 경우 초기 수립된 계획과 실제 운영에 차이가 발생하는 경우가 많고 이러한 비효율성으로 인해 문제가 발생하는 경우가 많다. 본 연구에서는 양중작업에 사용되는 리프트카를 대상으로 건축마감공사의 자원물량에 근거한 양중부하 산정 방법 및 예측 모델을 제시하고자 한다. 그 결과 리프트카 운행시간 및 사이클타임을 계산하여 총 양중장비 가동시간 및 양중가능 물량을 산출할 수 있을 것이다. 이를 양중장비조합을 위한 의사결정 지원 모델 구축을 위한 연구로 발전시켜 나갈 것이다.

**키워드 :** 초고층 건축물, 자원관리, 리프트카, 양중부하산정