

# 건설 리프트 가감속 능력을 고려한 양중시간 산정 알고리즘 개발

## An Algorithm for Hoisting Time Calculation in Super-tall Building Construction

조창연\*      신윤석\*\*      원서경\*\*\*      김정렬\*\*\*\*      조문영\*\*\*\*\*  
Chang-Yeon, Cho      Yoonseok, Shin      Seokyung, Won      Jung-Yeol, Kim      Moon-Young, Cho

### Abstract

An installation of the construction lift has a few limitations by many constrains and these have influences on labor productivity, that can be changed by vertical-transportation management. In the super-tall building construction, a management of construction lift operation is one of the most important factor, but existing methodologies depend on skilled practitioners' experiences. And it is true that the expertise resulted by the experiences does not transfer to the next generation. This study is a part of lifting-management simulation development which aims at the optimal construction lift management. A proposed algorithm is focus on lifting time calculation considering an acceleration capability. This research evaluates the result accuracy using comparative analysis on simulation result and field measuring time.

**Keywords :** *super-tall building, lifting management, lifting time calculation, construction lift, simulation*

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

초고층 건축공사에서의 건설 리프트(이하 리프트)는 주요 자재의 양중을 담당하는 타워크레인과는 다르게 중소형 자재 및 마감자재와 인력을 함께 양중하는 가설물로서, 해당 공사의 수직적인 노무 생산성에 직접적인 영향을 미치는 가장 중요한 관건요소이다(조창연, 2010).

초고층 건축공사에 있어서의 리프트의 설치는 여러 가지 제한 조건들에 의해 한정적인 대수만이 설치될 수 있으며, 이러한 리프트의 특징에서 기인하는 설치의 제약은 수직동선 관리에 의해 변화하는 각 층별 노무 생산성에 밀접한 영향을 미치게 된다. 따

라서 초고층 공사에 있어서의 리프트 운영관리는 현장의 작업생산성을 결정하는 중요한 관건요소이다.

현재 초고층 공사의 리프트 계획 및 운영에 관한 의사결정은 각 건설사별 다른 기준을 바탕으로 한 숙련 기술자들의 경험과 직관에 주로 의존하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 방식은 초고층 프로젝트가 점차 초고층화 및 대형화됨에 따라 고려하지 못하거나 착오가 발생할 수 있는 부분이 생길 수 있는 리스크를 가지고 있다. 시뮬레이션 기법의 활용은 이에 대한 하나의 대안이 될 수 있다. 즉, 시뮬레이션을 이용해 리프트 양중작업을 사실적으로 반영한 모델을 구축한다면, 보다 체계적이고 객관적으로 리프트 계획 및 양중에 관한 의사결정을 수행하는 것이 가능할 것이다.

이에 본 연구에서는 초고층 건축공사의 리프트 양중계획 및

\* 일반회원, 한국건설기술연구원 전임연구원, cycho@kict.re.kr

\*\* 일반회원, 경남과학기술대학교 전임강사(교신저자), ysshin@gntech.ac.kr

\*\*\* 일반회원, 한국건설기술연구원 객원선임연구원, kcem@hanmail.net

\*\*\*\* 일반회원, 한국건설기술연구원 수석연구원, jrkim@kict.re.kr

\*\*\*\*\* 종신회원, 한국건설기술연구원 선임연구위원, mycho@kict.re.kr

관리 시뮬레이션 개발의 일환으로, 리프트의 가감속 능력을 고려한 양중계획 시간산정 알고리즘을 개발하였다. 그리고 개발된 알고리즘에 대해 시뮬레이션 및 현장측정 결과의 비교를 통해 그 적용성을 검증해보았다. 향후 이를 바탕으로 시뮬레이션 모델을 구축한다면, 이 모델은 양중효율 예측, 장비운영 시나리오 평가 등 다양한 리프트 양중 계획 및 운영의 의사결정을 위해 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 국토해양부에서 지원하는 초고층 복합빌딩 사업단 연구의 일환으로 진행되는 스마트 양중관리 기술 및 매뉴얼개발 연구의 결과물로서, 스마트 양중관리 시뮬레이션 개발을 위한 리프트의 가감속 능력을 고려한 양중시간산정 알고리즘 개발로 그 범위를 한정하며, 본 연구의 진행과정을 도식화하면 다음의 그림 1과 같다.

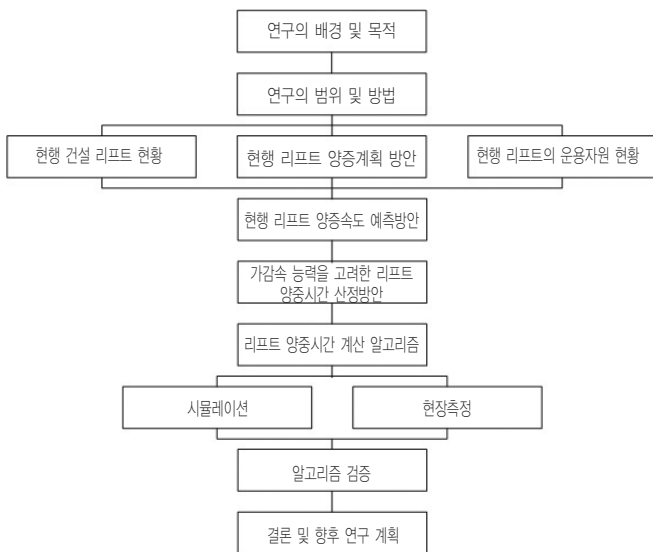


그림 1. 연구 흐름도

## 2. 현행 건설리프트 양중계획 현황조사

### 2.1 현행 건설리프트 현황

건설공사에서 사용되는 리프트는 용도에 따라 크게 화물용과 인화공용으로 구분되며, 일반적으로 리프트라 함은 인화공용 리프트를 의미한다. 일반적인 리프트의 경우 적재하중은 그 종류에 따라 1,000kg~2,500kg, 승강속도는 60~100m/min 정도이다. 이러한 리프트의 종류를 정리하면 그림 2와 같다.

구분	고속 대형	중속 대형	중속 일반	저속 대형	저속 일반
승강속도	100m/min	60m/min	60m/min	40m/min	40m/min
정격하중	2500kg	1500kg	1200kg	2000kg	1000~1200kg
Control방식	인버터	인버터	인버터	직입 기동	직입 기동
적재공간 (L*W*H)	4000(4500)* 1500*2650	4000* 1500*2650	3200* 1400*2650	4000*1500* 2650	3000*1250* 2650(2200)

그림 2. 리프트 종류별 제원

### 2.2 현행 건설리프트 양중계획 방안

선택할 수 있는 대안이 적은 초고층 프로젝트의 특징으로 인해, 양중장비의 선정계획은 현장 여건을 반영하지 못하는 경우 프로젝트 전체의 성패에도 영향을 줄 수 있는 중요한 사안이다. 그러나 현실적으로 다양한 영향요인을 고려하여 합리적 계획을 수립할 시간과 인력이 부족하여 경험과 직관에 의존한 기존 실적자료 중심의 계획이 수립되고 있는 실정임을 알 수 있다. 본 연구의 주안점인 초고층 양중계획 및 관리와 관련된 선행 연구는 다음의 표 1과 같다.

표 1. 초고층 양중계획 및 관리 관련 선행연구

연구자	연구관련 항목	주요 내용	연구의 특성 및 차별성
신윤석 외 1 (2009)	이산사건 시뮬레이션	- 이산사건 시뮬레이션을 이용한 건설 리프트 양중계획 모델 제안	- 리프트 운행의 물리적인 특성을 단순하게 가정
이학주 외 3 (2008)	확률적 시뮬레이션	- 대기행렬 이론을 이용한 건설용 리프트 계획모델 구축	- 저층부를 제외한 고층부만을 분석 - 가상 데이터에 의한 분석
김선국 외 1 (2008)	리프트 기종 및 대수산정	- 리프트 대수산정 프로세스 및 효율성 분석	- 인원 및 자재를 각각 구하여 함께 - 피크타임 분석 미비
이준복 외 1 (2008)	리프트 현장적용 타당성	- 중속형 리프트의 인공동주택 건설공사에의 적용 타당성 검토 - 건설생산의 효율성 제고 - 경제성 분석 및 최적 양중물 이동 방안 도출	- 공정과 연계한 리프트 최적 조합 시뮬레이션 모델 개발
박길재 외 2 (2001)	자재양중 계획	- 현행 리프트 양중계획의 문제점 및 해결점 제시 - 마감자재 양중계획 대안 생성 프로세스 도출 및 평가와 사례 적용	- 초고층 현장 리프트계획 특성 분석
안병주 외 1 (2001)	양중 관리체계	- 가상프로젝트 수립 및 양중계획 - 공정표에 따른 가설 리프트 기종, 대수, 위치 선정 - 최대양중부하에 따른 대표 마감 자재 적용 및 양중계획 타당성 검토	- 시뮬레이션 모델의 경제성평가 및 최적화 방안 도출
김 훈 (2000)	의사결정 모델	- 설문조사에 의한 양중부하 영향인자 도출 - 양중장비 선정에 위한 의사결정 모델	- 20층 이상으로 초고층 범주와 차별 - 상관관계 분석 및 영향인자 도출

설계도서에 정해진 연면적에 따른 물량 산출과 양중 사이클 계산법에 의한 단순 계산식은 건설리프트의 대수를 산정하는데 현재까지 주로 사용되는 방법이나 실제 현장 여건과의 오차가 발생하여 피크타임 시 공사인력의 대기시간이 길어지는 결과가 발생하게 되었으며(박길재 외 2인, 2001), 이는 단순 계산식의 계산이 작업시간 동안 일정한 자원 수의 일률적 투입, 사이클 주기(cycle time)와 탑승인원의 고정적 가중, 적용 리프트의 동일 가동률에 대한 가정을 바탕으로 이루어지기 때문이라 할 수 있다. 기존의 건설리프트 양중계획에 관한 연구는 주로 이러한 단순 계산식을 토대로 경제성과 효율성을 분석하는 방향으로 진행되어 왔으며, 또한 안병주(2004)는 수리적으로 해결하기 곤란한 작업원 수직 이동계획 프로세스에 이산형 시뮬레이션을 적용하여 보다 현장의 특성을 반영할 수 있는 계획이 가능함을 보였다. 그러나 자재 이동, 리프트 이용자의 대기시간, 건설리프트의 확률적 유연성에 대한 고려가 부족하였으며, 따라서 건설리프트의 적정한 사양과 대수를 직접적으로 선정하고, 산정된 대수의 운영계획을 수립하여 시공단계에서 운영관리를 실시하는 것에는 어려움이 있다.

### 2.3 현행 리프트 운용자원 현황

효율적인 초고층 공사 양중계획 및 관리를 위해서는 현장의 리프트 양중자원에 대한 분석이 선행되어야 한다.

리프트 양중자원의 대표적 자원인 건설 노무자는 각 공종별 노무자들이 작업조(crew)를 구성하여 이동하며, 하루 작업시간 중 양중부하로 크게 작용하는 시간은 출·퇴근시간과 식사시간의 4회가 된다. 이 중에서도 현장에서 가장 중요하게 취급하는 관리시간대는 출근시간인 것으로 조사되었다. 이는 리프트로 인력이 이동하는 시간에 따라 1일 작업생산성이 영향을 받기 때문이며, 이러한 리프트의 운송효율에 의한 노무 작업생산성의 변화는 고층화 될수록, 마감공사의 동시작업 공종 수가 증가할수록 크게 나타나는 것으로 조사되었다.

리프트 양중자재의 경우, 일반적으로 중소형 마감자재 위주로 구성이 되며, 선행연구결과 분석 및 현장조사 결과, 마감자재는 동일한 물량일지라도 자재별 형상·규격·운반단위·양중장비의 규격 등에 따라 양중부하가 다르게 계산되어질 수 있다. 이를 위해 각 현장에서는 공사계획 단계에서 각 마감자재별 리프트 양중단위를 설정하고 있으며, 이를 벽돌의 예로 도식화하여 정리하면 다음의 그림 3과 같다. 만약 공사에 필요한 시멘트 벽돌의 소요 물량이 500매라고 가정했을 때 양중부하는 운반단위에 따라 달라진다. 또한 운반단위는 가설 리프트의 케이지(cage)크기와 장비 성능 등에 따라 다르며 자재의 종류별로도 차이가 있다.(안병주, 2001)

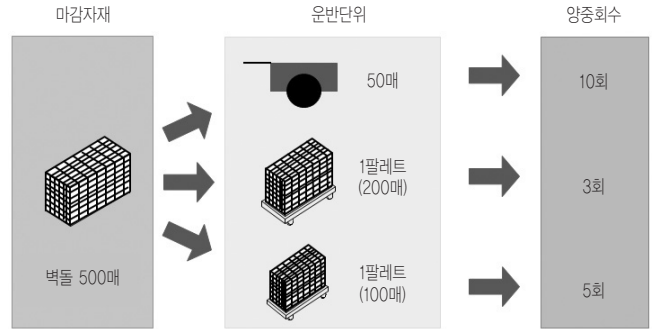


그림 3. 마감자재 물량과 양중부하의 관계

## 3. 리프트 양중시간 계산 알고리즘

### 3.1 현행 리프트 양중효율 산출방안

현재 건설업체 및 리프트 제작/임대업체에서 사용하고 있는 리프트의 양중효율 산출방안은 크게 다음의 두 가지로 구분할 수 있다(신윤석, 2010).

첫째, 양중인원/양중량에 기준한 계획방법으로, 작업인원과 자재양중을 위한 리프트의 기종을 가결정하고, 국내와 일본의 초고층 공사 실적자료를 이용하여 연면적 대비 일일 최대 출역인원(명/m<sup>2</sup>)과 예상 양중량(ton/m<sup>2</sup>)을 계산한다. 계산된 단위면적당 값을 활용하여 해당 현장에서 예상되는 피크타임 시 양중인원과 자재 투입 총량을 산출한다. 리프트에 작업인원과 마감자재 양중을 위한 리프트 기종을 결정하고, 해당 리프트의 속도에 양중높이, 작업원의 승하차시간, 자재의 상하차 시간 등을 가정하여 작업인원과 자재 각각의 1회의 양중사이클을 산출한다.

둘째, 양중횟수에 기준한 계획방법으로, 인력양중과 자재양중에 대한 단위면적당 양중횟수를 가정하고, 양중대수를 산정하여 리프트의 양중계획을 수립하는 방안으로써, 국내외의 실적자료를 참고하여 단위면적당 양중횟수를 가정하여 건축물 연면적에 대한 양중회수를 산출하고 이를 공사기일로 나누어 요구 리프트의 대수를 산정한다.

현재 일반적으로 사용하는 리프트의 운행시간 계산식은 다음의 <수식 1>과 같이 정리될 수 있다.

$$T = H / (V \times E) \quad \text{수식 1}$$

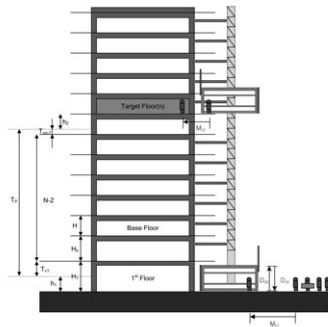
이때, T는 1회 양중시간, H는 건물높이, V는 양중속도(m/min), E는 리프트가 운행효율(%)이다. 상단의 수식 1은 현재 가장 일반적으로 사용되는 리프트 운행시간 산정 식이나, 이 식은 다음과 같은 한계로 인해 정밀한 시뮬레이션의 개발에 적용

하기에는 어려움이 있다.

첫째, 지속적으로 변화하는 건축물의 높이를 고려하지 않고 개략으로 산정하고 있다.

둘째, 리프트의 운영효율은 관리목표로 설정되는 항목으로써, 숙련 기술자의 경험에 의존하여 설정되는 경우가 많다.

- H : 기준층 층고
- H<sub>b</sub> : 1층부터 기준층 이하까지의 각 층고
- a : 운행속도 도달 가속도
- a' : 정지속도 도달 감속도
- h<sub>1</sub> : 운행속도 도달 소요거리
- h<sub>2</sub> : 정지속도 도달 소요거리
- s<sub>1</sub> : 가속소요시간
- s<sub>2</sub> : 감속소요시간
- n : 정지하는 층의 개수
- m : 통과하는 층의 개수
- v : 안전운행속도
- D<sub>ot</sub> = 리프트 출입문 개방 소요시간
- D<sub>ct</sub> = 리프트 출입문 폐쇄 소요시간



M<sub>Li</sub> = 1인당 리프트 승하차시간

그림 4. 모델의 설정

셋째, 1일 Peak Time 시 여러 개의 층을 동시에 정차운행을 반복하는 리프트 운영에 대한 예측이 어렵다.

이러한 한계로 인해 본 연구에서 개발하고자 하는 초고층 리프트 양중관리 시뮬레이션의 리프트 운행속도 예측에 본 식을 적용하는 것에는 어려움이 따른다.

### 3.2 가감속 능력을 고려한 리프트 운행시간 산정 방안

현재 건설현장에서 사용 중인 리프트의 경우, 정차부터 운행 속도까지의 가속능력과 운행속도에서 정차까지의 감속능력이 리프트 종류별로, 제작업체별로 차이가 발생하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 현장에 사용할 리프트 중 운송효율이 가장 좋은 리프트를 선택하는 것은 합리적인 양중관리를 위한 가장 우선적인 선택이 된다.

현재 초고층 현장에서 사용되는 리프트의 속도 및 크기에 따른 평균적인 가감속 데이터를 정리하면 다음의 표 2와 같다.

표 2. 리프트 속도 및 크기별 평균 가감속 능력

구분	하이스트 안전운행속도 (분속 m/min, 초속 m/sec)	가속시간 (sec)	감속시간 (sec)	가속도 (a) m/sec <sup>2</sup>	운행속도 도달거리 (m)	감속도 (a') m/sec <sup>2</sup>	정지속도 도달거리 (m)
고속형	100 / 1.67	2.80	2.90	0.60	2.33	0.57	2.42
중속	60 / 1.00	5.00	2.90	0.20	2.50	0.34	1.45
저속	38 / 0.63	1.00	1.00	0.63	0.32	0.63	0.32

상단의 표 2에서 나타나는 바와 같이 리프트의 가감속 속도는 안전운행속도에 도달하기까지의 높이(m)에 영향을 미치는 요소이다.

리프트의 운행시간(TL) 산정 식은 선행연구(Cho et al., 2009)에서 규명된 바와 같이, 다음과 같이 정의하도록 한다.

$$T_L = T_m + L_t \quad \text{수식 2}$$

이때의 T<sub>m</sub>은 Lift의 이동소요시간, L<sub>t</sub>는 리프트에 양중자원이 적재/하역되는 시간을 의미한다. 따라서 T<sub>m</sub>의 계산은 크게 다음의 경우에 따라 나누어 산출할 수 있다. 본 연구에서 사용하는 수식의 용어는 다음과 같이 정의된다.

수식 1의 리프트 이동시간 T<sub>m</sub>은 안전운행속도로 운행하는 총 이동소요시간(T<sub>p</sub>)과 1층에서의 상승가속시간 (T<sub>1</sub>), 정지층-1층의 감속 소요시간 (S<sub>2</sub>)의 합으로 산출될 수 있으며, 이를 정의하면 다음의 수식 3(Cho et al., 2010)과 같다.

$$T_m = T_p + S_1 + S_2 \quad \text{수식 3}$$

이때, 안전운행속도로 운행하는 총 이동소요시간 T<sub>p</sub>는 1층에서 가속거리를 제외한 나머지 거리를 통과하는 소요시간(T<sub>v1</sub>)에 정지층-1층에서의 감속거리를 제외한 나머지 거리를 통과하는 소요시간(T<sub>vn-1</sub>)과 통과하는 나머지 층의 층고의 합으로 산정될 수 있으며, 이를 정리하면 다음의 수식 4(Cho et al., 2010)와 같다.

$$T_p = T_v + T_{v1} + T_{vn-1}$$

$$T_v = \frac{\sum_{i=2}^{n-2} H_i}{V}, T_{v1} = \frac{H_1 - h_1}{V}, T_{vn-1} = \frac{H_{n-1} - h_2}{V}$$

수식 4

수식 2의 L<sub>t</sub>는 리프트의 출입문을 여닫는 시간과 양중자원의 승하차시간의 합이며, 이는 1층에서의 탑승과 목적층에서의 하차가 포함되기 때문에 다음의 수식 5와 같이 산출할 수 있다.

$$L_t = (D_{ot} + D_{ct} + M_{Li}) \times 2 \quad \text{수식 5}$$

### 3.3 양중 사이클 계산

본 절에서는 제시된 리프트 양중 소요시간 산정방법을 사례를 통해 적용하도록 한다.

1층에서 10층까지 각 층고가 4m인 현장에서 총 10명의 노무자를 15명 정원의 고속형 리프트를 이용하여 10층까지 양중을 하는 경우, 1회 양중 사이클 소요시간은 다음과 같이 산출할 수

있다.(단, 이때 각 노무자별 리프트 탑승시간은 0.5초/인, 리프트 문 여는 시간은 5초, 닫는 시간은 1초로 가정한다)

리프트 상승거리 : 4m x 10 층 = 40m

리프트 이동시간( $T_m$ ) = 리프트 정속주행 시간( $T_p$ ) + 가속시간(2.80 sec) + 감속시간(2.90 sec)

리프트의 정속주행 시간( $T_p$ ) = 정속주행 통과층 소요시간( $T_{v1}$ ) + 1층 정속주행 시간( $T_{v1}$ ) + (도착층 - 1층)의 정속 주행시간( $T_{vn-1}$ )

= (2-8층 이동 소요시간) + 1층 정속주행 시간 + 9층 정속주행 시간

= 19.16 sec + 1sec + 0.95sec = 21.11 sec

양중자원 승하차시간( $L_t$ ) = (5sec + 1sec + 0.5sec/인 x 10인) x 2회 = 22 sec

이때, 가정에서 10층에 10명의 상승소요시간은 노무자의 승하차 시간이 포함되나, 하강소요시간에서는 이 시간이 제외되어야 한다. 따라서 리프트의 1회 양중 사이클 소요시간은 53.81초(상승 소요시간) + 43.81초(하강 소요시간)의 총 97.62초가 된다.

#### 4. 가감속 능력을 고려한 리프트 양중시간 산정방안 검증

본 연구에서는 제시된 알고리즘을 검증하기 위해 기존의 시간산정 방식과 본 연구에서 제시된 시간산정 알고리즘의 결과물을 시뮬레이션을 통해 비교하고, 다시 현장측정 결과와 두 가지 방식에 대한 비교검증을 통해 제시된 알고리즘의 효율성을 검증하도록 한다.

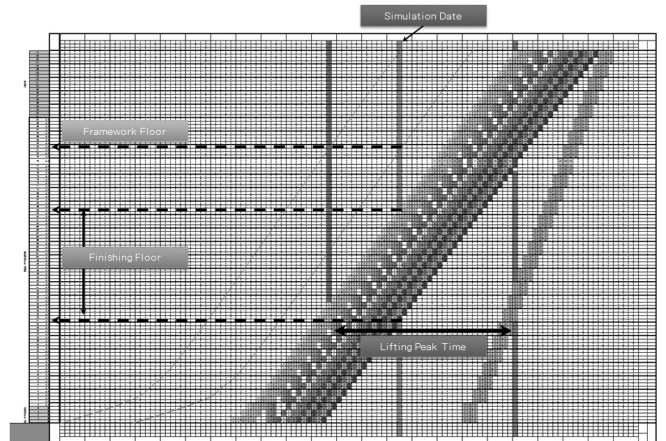


그림 5. 110층 초고층 건축물 Tact 공정 설정

#### 4.1 시뮬레이션 가정

본 연구에서는 제안된 건설리프트 양중시간산정 알고리즘을 검증하기 위하여 양중모델을 설정하고 이에 대한 시뮬레이션을 실시하고자 한다.

다음의 그림 5와 같은 TACT를 가지는 110층 초고층 건축물에서 마감공사 공정이 총 19개의 공종으로 이루어지고, 각 공정별 양중부하가 다음의 표 3과 같다고 가정한다. 단, 본 사례에서의 양중부하는 노무자를 기준으로 산정하도록 하며, 노무자 1인은 성인남자 평균 몸무게인 75kg으로 가정한다.

하단의 표 3에서 Number of Crew는 해당 작업(Activity)을 구성하는 작업조(Crew)의 구성원 수를 의미하며, 작업조 하중(Crew Weight)은 75kg x n(Number of Crew)으로 산정하고, 작업조 도구 무게(Tool's Weight)는 해당 작업조가 작업을 위해 건설리프트 탑승 시 함께 양중해야하는 보조공구의 총 하중이다. 작업층(Work Floor)은 해당일에 작업이 발생하는 층을 의미

표 3. 시뮬레이션을 위한 공종별 양중부하 설정

Activity No.	Number of Crew	Crew Weight	Tool's Weight	Total Load	Work Floor	Activity No.	Number of Crew	Crew Weight	Tool's Weight	Total Load	Work Floor
1	6	450	50	500	63,64	11	4	300	20	320	43,44
2	7	525	70	595	61,62	12	7	525	15	540	41,42
3	6	450	40	490	59,90	13	5	375	10	385	39,40
4	5	375	30	405	57,58	14	9	675	10	685	37,38
5	4	300	25	325	-	15	8	600	40	640	35,36
6	8	600	50	650	53,54	16	6	450	60	510	33,34
7	9	675	40	715	51,52	17	4	300	25	325	-
8	5	375	50	425	49,50	18	6	450	60	510	-
9	7	525	25	550	47,48	19	3	225	30	255	-
10	6	450	70	520	45,46	Frame Work	18	1,350	120	1,470	80,81



자원 승하차시간(Lt)는 기존과 제안 알고리즘 모두 동일한 것으로 가정하도록 한다.

4.1장에서 제시한 시뮬레이션 조건을 통한 제한조건의 검토 및 양중횟수 선정은 다음의 그림 7과 같이 정리될 수 있다.

위의 그림 7과 같이, 본 시뮬레이션의 양중자원은 총 7회에 걸쳐 양중될 수 있으며, 인원 양중 시 최대인원이 탑승해도 양중 무게제한에 의한 양중불가 조합은 도출되지 않는다. 따라서 본 장에서는 각 양중회차별 도착층의 양중자원을 그림 8의 각 회차별 인원을 양중하는 것으로 시뮬레이션을 실시하였다.

본 연구에서 제안한 알고리즘을 활용한 시뮬레이션 결과와 기존의 방식을 사용한 시뮬레이션 결과는 상단의 그림 8과 같이 나타났다.

시뮬레이션 실시 결과 본 연구에서 제안한 알고리즘을 활용한 시뮬레이션에서의 양중소요시간은 7회의 양중동안 5,226.6초인 것으로 산출되었으며, 현재 현장에서 활용하는 기존의 방식은 5,146.8초가 산출되었으며, 이를 정리하면 다음의 표 4와 같다.

표 4. 시뮬레이션 결과분석

	Simulation							As-is Process						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Lifting Cycle														
Unloading Time	194	294	344	344	344	294	164	194	294	344	344	344	294	164
Lifting up Time	206.9	164	153.9	133.8	118.7	103.5	93.5	204	161.2	151.1	130.9	115.8	100.7	90.6
Lifting Down Time	204.3	167.2	160	139.8	124.7	106.7	93.8	201.5	158.6	148.6	128.4	113.3	98.2	88.1
Loading Time	194	194	194	194	194	194	114	194	194	194	194	194	194	114
Total Time per cycle	799.2	819.2	851.9	811.6	781.3	698.2	465.2	793.5	807.8	837.6	797.3	767.1	686.8	456.7
Total Lifting Time	5226.6							5146.8						

### 4.3 현장 측정을 통한 검증

본 연구에서는 제시된 알고리즘의 검증을 위해 현장측정을 통한 시간데이터와 제시 알고리즘을 통해 도출된 시간예측 결과에 대한 직접비교를 실시했다.

표 5. 측정현장 개요

현장위치	인천송도지구	현장측정사진
현장개요	3개동 주상복합빌딩	
총 층수	39층	
현재 리프트 운행층	29층	
기준층	7층 - 3.6m	현장전경
기준층 이하 층고	1층-6.0m 2층-3.9m 3층-3.9m 4층-3.9m 5층-4.2m 6층-3.3m	

본 연구에서 실시한 측정대상 현장의 개요를 정리하면 다음의 표 5와 같으며, 현장 실측은 총 29층까지 운행하는 리프트에 탑승하여 리프트의 출발층과 정지층을 기록하고, 해당 구간의 운행시간을 측정하였으며, 측정 결과 샘플은 다음의 표 6과 같다.

표 6. 현장측정 결과의 예

측정횟수	출발층	소요시간	도착층	비고
1	1	19.9	2	정차위치 수정
2	2	22.5	9	-
3	9	36.1	23	-
4	23	22.9	29	정차위치 수정
5	29	77.5	1	-

리프트 운행 시간측정은 다음의 그림 9와 같은 방법으로 측정하였다.

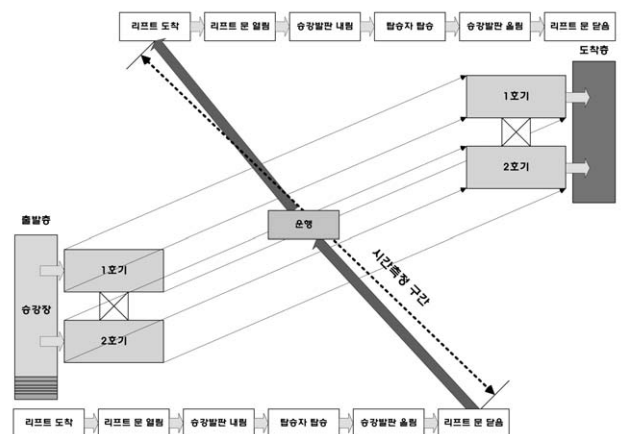


그림 9. 알고리즘 검증을 위한 현장측정 방안

본 연구에서는 측정결과와 현재의 시간산정 방식, 본 연구에서 제안한 알고리즘을 통한 시간산정 결과 값을 각각 산출한 후

알고리즘의 정확도를 분석하였다. 현장측정 결과와 현재식을 통한 시간산정, 제안 알고리즘을 통한 시간도출 결과를 정리하면 다음의 표 7과 같이 정리될 수 있다. 이 때, 표 7에서 나타나는 측정시간 결과 중 1회, 4회, 9회, 11회, 13회, 16회의 6회는 현장 운전자가 도착 층에서 리프트와 해당 층의 높이를 맞추기 위한 작업지연 요인이 발생하였으며<sup>3)</sup>, 이로 인해 타 구간대비 많은 운행시간이 소요되었다.

표 7. 현장측정, 현재방식, 알고리즘간 시간도출 결과

횟수	이동거리	측정시간	현재 방식	현재식 정확도	알고리즘	알고리즘 정확도
1	6	19.9	3.9	19.60%	7.1	35.68%
2	26.4	22.5	17.2	76.44%	20.4	90.67%
3	50.4	36.1	32.9	91.14%	36.1	100.00%
4	21.6	22.9	14.1	61.57%	17.3	75.55%
5	104.4	77.5	68.1	87.87%	71.3	92.00%
6	104.4	75	68.1	90.80%	71.3	95.07%
7	104.4	75	68.1	90.80%	71.3	95.07%
8	104.4	75	68.1	90.80%	71.3	95.07%
9	10.8	19	7	36.84%	10.3	54.21%
10	54	38.7	35.2	90.96%	38.4	99.22%
11	7.2	12.6	4.7	37.30%	7.9	62.70%
12	32.4	24.3	21.1	86.83%	24.4	100.41%
13	39.6	33.5	25.8	77.01%	29	86.57%
14	21.6	18.8	14.1	75.00%	17.3	92.02%
15	43.2	34.4	28.2	81.98%	31.4	91.28%
16	25.2	27.1	16.4	60.52%	19.7	72.69%
17	57.3	40.8	37.4	91.67%	40.6	99.51%
18	82.5	53.6	53.8	100.37%	57	106.34%
19	104.4	75	68.1	90.80%	71.3	95.07%
20	51.3	37.1	33.5	90.30%	36.7	98.92%
21	36	26.9	23.5	87.36%	26.7	99.26%
22	32.4	24.7	21.1	85.43%	24.4	98.79%
23	72.3	50.1	47.2	94.21%	50.4	100.60%
24	64.8	45.8	42.3	92.36%	45.5	99.34%
25	65.1	45.3	42.5	93.82%	45.7	100.88%
26	14.4	12.3	9.4	76.42%	12.6	102.44%
27	94.8	64.9	61.8	95.22%	65	100.15%
28	83.4	57.8	54.4	94.12%	57.6	99.65%
29	18.9	15.7	12.3	78.34%	15.5	98.73%
30	82.5	57.2	53.8	94.06%	57	99.65%
31	26.4	22.5	17.2	76.44%	20.4	90.67%
32	50.4	36.1	32.9	91.14%	36.1	100.00%
33	54.6	38.8	35.6	91.75%	38.8	100.00%
34	39.6	29.1	25.8	88.66%	29	99.66%
35	75.6	52.8	49.3	93.37%	52.5	99.43%
36	75.6	52.8	49.3	93.37%	52.5	99.43%
37	104.4	75	68.1	90.80%	71.3	95.07%
38	104.4	75	68.1	90.80%	71.3	95.07%
39	50.4	36.1	32.9	91.14%	36.1	100.00%
40	50.4	35.9	32.9	91.64%	36.1	100.56%

3) 이때의 작업지연요인은 현장 운전자의 층인식 문제 외에도 이동 중인 층에서 현장 작업자가 호출하는 경우 리프트를 중간에 멈추고 해당 작업자와 대화를 하는 등의 작업지연이 발생하였음

현장 운전자의 조작상의 지연요인 6회를 제외한 34회의 측정 결과, 현재 사용하는 시간산정 방식의 평균 오차율은 10.99%였으며, 제안 알고리즘의 시간예측 결과의 평균 오차율은 2.06%인 것으로 도출되었으며, 높이 변화에 따른 측정결과 정확도 및 지연요인 6회를 제외한 34회의 평균 오차율을 정리하면 다음의 그림 10, 11과 같다.

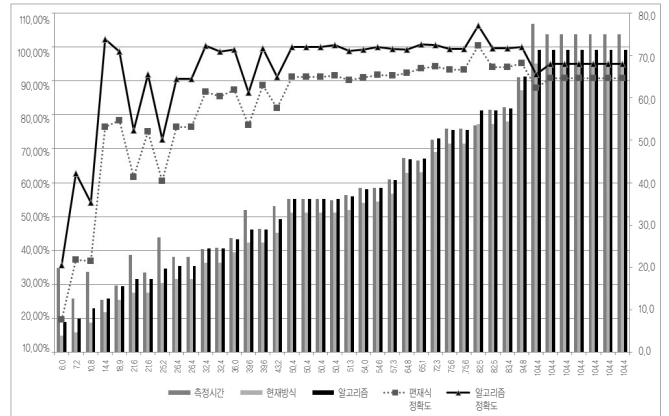


그림 10. 높이 변화에 따른 정확도 분석결과

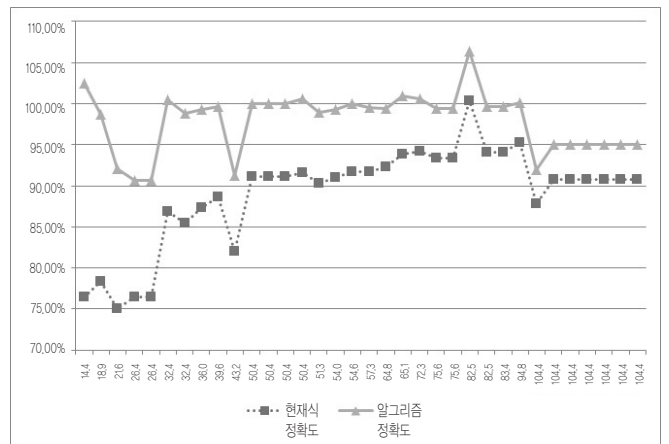


그림 11. 지연요인을 제외한 34회 측정결과 정확도 분석

본 장에서 시뮬레이션을 활용한 현재의 시간산정 방식과 제안 알고리즘간의 결과에 대한 비교분석과 현장 측정결과와의 비교 분석을 실시한 결과, 본 연구에서 제안하는 시간산정 알고리즘은 기존 방식보다 그 정확도가 높아진 것으로 판단되어진다.

## 5. 결론 및 향후 연구계획

본 연구에서는 초고층 공사의 중요한 관리요소인 리프트 양중 관리 시뮬레이션을 개발하기 위해 건설 리프트의 가감속 능력을 고려한 양중계획 시간산정 알고리즘을 개발하였다.



이를 위해 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 사용하였다.

첫째, 현재 현장에서 사용되고 있는 양중계획방안에 대해 건설업체 전문가에 대한 인터뷰를 통한 조사를 실시하였다.

둘째, 초고층 사용 장비의 기계적 능력에 대한 분석을 통해 리프트의 가감속 능력을 도출하고, 이를 활용한 리프트의 물리적 운동을 계산할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

셋째, 제시된 알고리즘의 효용성 검증을 위해 기존의 리프트 효율 예측 방식과 제안 알고리즘의 예측방식에 대한 시뮬레이션을 실시하고, 그 결과를 분석하였다.

넷째, 현재 현장에서 사용되는 리프트의 운행시간에 대한 측정을 실시하고, 측정 결과와 제안 알고리즘의 예측결과에 대한 비교분석을 실시하였다.

연구 수행 결과, 제안된 건설 리프트의 운행시간 예측 알고리즘은 실제 현장에서 운행되는 리프트의 물리적 운동에 대해 평균 4% 이하의 오차율로 기존방식보다 높은 정확도로 예측이 가능하였으며, 이는 기존의 시공회사에서 사용하는 방식보다 6% 이상 오차율이 낮아진 결과이다. 또한 제시된 알고리즘은 현장에서 운행되는 리프트의 운행높이에 관계없이 90% 이상의 정확도로 리프트의 운행시간에 대한 예측이 가능하였다.

따라서 제안 알고리즘을 활용한 리프트의 운영계획 및 관리 시뮬레이션을 제작할 경우 현재 건설회사가 사용하는 경험적 의존 방식보다 체계적이고 정량적인 리프트의 운영계획 및 관리가 가능해질 수 있을 것으로 기대된다.

또한 본 연구를 진행하며 현장측정을 실시한 결과, 현장에서의 건설 리프트 운행 시 운행시간 지연요인은 리프트 운전자의 숙련도와 연관이 높으며, 특히 리프트 운행 시 지연시간 발생 요인은 리프트 정차 시 운전자가 층과 리프트의 높이를 맞추는 작업임을 알 수 있었다.

따라서 현재 고속시공기술 개발의 일환으로 진행되는 본 과제와, 본 과제 결과와 연동되어 개발되는 초고층 건설 리프트 자동 운행 시스템의 개발을 통해 초고층 건축공사 시공현장 운영 시 리프트의 운송시간 지연요인을 능동적으로 감소시킬 수 있다고 판단되며, 본 연구는 기존의 리프트 운영방식에 대한 예측 외에도 향후 개발될 자동운행 리프트의 운영시간 예측에 활용되기 위한 기초 알고리즘으로써의 효용성이 높을 것으로 예상된다.

향후 진행될 연구에서는 본 연구결과를 바탕으로 복수대 이상의 건설 리프트 현장 투입 시 운영 최적화 방안에 대한 알고리즘을 개발하고, 이를 통해 보다 정량적인 시뮬레이션을 통한 현장 관리자의 양중 의사결정 지원 합리화 방안을 모색할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업(09첨단도시A01) 결과의 일부임.

## 참고문헌

- 김선국, 한갑규(2008). 건설 리프트의 적정 대수 산정에 관한 연구, 한국건축시공학회 논문집, 제8권 제3호, pp.119~125
- 김훈, 안병주, 김재준(1999). 고층빌딩공사의 리프트 선정 프로세스 개선 방안에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 대한건축학회, 제19권, 제2호, pp.774~779
- 박길재, 장명훈, 이현수(2010). 고층 건축공사에 있어 자재양중 계획의 최적화방안, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제21권 제2호, pp.515~518
- 신윤석(2010). 초고층 건축물 마감공사를 위한 상호작용적 리프트카 양중계획 시스템, 박사학위논문, 고려대학교 대학원
- 신윤석, 강경인(2010). 이산사건 시뮬레이션을 이용한 초고층 건축공사 건설 리프트 양중계획 모델, 대한건축학회 논문집, pp 119~127
- 안병주(2001). 초고층건물공사 마감자재의 수직·수평이동계획이 통합된 의사결정모델, 박사학위논문, 한양대학교 대학원
- 이준복, 한충희(2008). 공동주택공사의 건설용 리프트를 이용한 양중계획 타당성 분석, 한국건설관리학회 논문집, 제9권 제3호, pp. 185~193
- 이학주, 김대원, 조훈희, 강경인(2008). 큐잉이론을 이용한 고층 건물 가설리프트 계획모델 구축에 관한 연구, 한국건설관리학회 학술발표대회논문집, 한국건설관리학회, 제8권 1호, p. 635~640
- 원서경, 조창연, 조문영, 이준복, 한충희(2010). 초고층 골조공정 계획과 연계한 마감공사의 양중부하량 분석, 한국건설관리학회 학술발표대회논문집, 한국건설관리학회, 제10권 1호, pp. 353~354
- 조창연, 김정렬, 신윤석, 조문영, 원서경(2010). 초고층 양중 시뮬레이션 개발을 위한 Library DB 구축, 한국건설관리학회 학술발표대회논문집, 한국건설관리학회, 제10권 1호, pp. 107~108
- Cho, C. Y., Kwon, S. W., Lee, J. B., You, S. J., Chin, S. Y. and Kim, Y. S. (2009). Basic Study of Smart Robotic

Construction Lift For Increasing Resource Lifting Efficiency in High-Rise Building Construction, Proceedings of the 26th ISARC, Austin TX, USA, pp. 266~277

Cho, C. Y., Kim, J. Y., Cho, M. Y., Lee, J. B., Kim, Y. S., and Kwon, S. W. (2010). Simulation method of construction hoist operating plan for high rise buildings considering lifting heights and loads, Proceedings of the 27th ISARC, Prague, Czech Republic, pp. 22~28

Cho, C., Kwon, S., Shin, T. H., Chin, S. and Kim, Y. S. (2011). A development of next generation intelligent construction liftcar toolkit for vertical material movement management, Automation in Construction, Elsevier, pp. 14~27

논문제출일: 2011.01.13

논문심사일: 2011.01.21

심사완료일: 2011.09.07

## 요 약

초고층 건축공사에 있어서의 건설리프트 설치는 여러 가지 제한조건들에 의해 한정적인 대수만이 설치될 수 있으며, 이러한 건설리프트의 특징에서 기인하는 설치의 제약은 수직동선 관리에 의해 변화하는 각 층별 노무 생산성에 밀접한 영향을 미치게 된다. 따라서 초고층 건축공사에 있어서의 리프트 운영관리는 현장의 작업생산성을 결정하는 중요한 관리요소이나, 현재 초고층 건축공사의 건설리프트 운영계획의 경우, 각 건설사별 다른 기준을 바탕으로 해당사의 숙련 기술자들의 경험에 의존하는 형태로 계획 및 관리가 이루어지고 있으며, 이러한 관리형태는 프로젝트가 초고층화 및 대형화됨에 따라 고려하지 못하거나 착오가 발생할 수 있는 부분이 생길 수 있는 리스크를 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 초고층 건축공사의 중요한 관리요소인 건설리프트 양중관리 시뮬레이션 개발의 일환으로, 건설 리프트의 가감속 능력을 고려한 양중계획 시간산정 알고리즘을 개발하고, 개발된 알고리즘에 대해 시뮬레이션 및 현장측정을 통해 검증하였다.

**키워드 :** 초고층, 양중계획, 양중시간 산정, 건설리프트, 시뮬레이션