센싱정보를 활용한 초고층 건설용 리프트 최적화 운행 시스템 개발

Development of Optimum Construction Lift Operation System using Sensing Information for High-rise Building

신 중 환* 권 순 욱**
Shin, Joong-Hwan Kwon, Soon-Wook

Abstract

As recent buildings have been more higher and larger, construction vertical lifting planning and operation is a key factor for successful project in tall building. Although many studies have been trying to set up a construction lifting planning system at early stage, there's not existing a control real-time lift operation control system with respect to during construction stage. Therefore, In this study, we use the sensor device to collect the lift operating data for improvement of lift operation efficiency and develop optimum lift operating system which can perform real-time analysis. Finally, we verify the efficiency of proposed system through comparison between realtime operating data and simulated data using proposing system. In this paper, the proposed system show more efficient moving line compared with previous system. This can contribute to development of unmanned lift system.

Keywords : Construction Lift, ELIS(Embedded Lift Information System), Optimum Lift car Selection Process

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축물이 고층화, 대형화 될수록 시공 계획과 운영에 관한 많은 제약사항에 부딪히게 되는데, 그 중 초고층건물의 양중관리에 관한 고려는 자재 및 인력의 운반에 있어 생산성 향상에 큰 영향요인이 된다. 특히 그림 1과 같이 오늘날 건물의 높이가 급격하게 증가함에 따라 더욱 중요한 이슈가 되고 있다.

현재 초고층 공사의 리프트를 이용한 양중관리의 경우에는, 리프트의 운영 계획과 운영을 현장 담당자의 오래된 경험과 고용된 운전수에 의해 행해지고 있다. 이로 인해, 수직적 동선의 특징을 가지는 리프트의 운행에 있어 운영의 효율성이 떨어지게 되고 사용자의 대기시간은 층수가 늘어남에 따라 더욱 늘어난다.

※ 출처 : Council on Buildings and Urban Habitat(2012)

그림 1. 전 세계 200m 이상 초고층 건축물 생성 현황

100층 이상의 초고층 건축공사에서 양중은 리프트의 선정 및 계획에 따라 다수의 리프트가 설치된다. 건축물의 코어부위에

* 일반회원, 성균관대학교 대학원 u-City공학과 석사과정, all_open@naver.com

** 중신회원, 성균관대학교 건축공학과, u-City공학과 교수, 공학박사(교신저자), swkwon@skku.edu

설치되는 엘리베이터와 달리, 건설공정에 사용되는 건설용 리프트는 건물의 외벽에 리프트가 장착되는 Mast가 정착되기 때문에 넓은 규모의 현장에서 각 리프트를 효율적으로 컨트롤하기란 쉽지가 않다. 이는 건설용 리프트의 중복운행 및 운행 판단 착오를 발생하고 대형공사의 공사 지연현상을 초래하게 된다. 또한, 현재 현장에서는 국내의 7개 초고층 프로젝트 건설지 자료를 기준으로 평균양중횟수 0.23~0.28회/m²을 근거로 한 리프트 설치 대수를 사전 설정하고 있으나, 공사 착수 후에는 컨트롤에 있어 적절한 계획은 확보하고 있지 않다.

따라서 본 연구는 건설용 리프트 운영 효율증대를 위하여 운용정보를 관리하고 데이터 저장 및 최적화 운영을 위한 개선 방안을 제시하여 사용자의 리프트 탑승 대기시간 감소 등 건설용 리프트 카의 설치 후 운영 컨트롤에 그 목적성을 띄고 있다.

나아가 지능형 건설용 리프트 카 분배 S/W, H/W를 통해 무인 스마트 리프트의 개발에 초석을 세워 대형 건설 현장의 시공 경쟁력 확보에 기여하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

건설 프로젝트의 양중관리는 착공 전 ‘양중 계획(lift Planning)’과 착공 후 ‘운영 관리(lift Operation)’로 세분화 할 수 있다. 본 연구에서는 ‘운영 관리’에 초점을 맞추고 있으나 본 연구과정에서 축적되는 운영 데이터는 향후 ‘양중 계획’의 수립에 신뢰도가 높은 실적자료가 됨으로 양중관리 전체를 다룬다고 할 수 있다.

그림 2. 연구의 진행

연구의 진행 방법은 그림 2와 같다. 운영 관리에 있어 궁극적 목적을 사용자의 대기시간 감소에 두고 있으며 이를 위해 리프트 운행정보를 파악할 수 있는 6가지 센서를 리프트 카에 부착했다.

수집된 운영 데이터베이스를 바탕으로 사용자 대기시간을 최소화 할 수 있는 리프트 분배 알고리즘을 제시함과 동시에 불필요한 운행 층을 제거하는 의사결정 시스템을 제안하였다.

본 연구에서는 시스템의 제안과 함께 소프트웨어 개발을 통하여 시스템의 효율성을 센서가 부착된 초고층 현장의 리프트 운행 실적을 바탕으로 시뮬레이션을 통해 비교 검증하였으며 시스템이 적용될 경우 프로젝트 전 기간 동안 미칠 시스템의 가치에 대해 평가하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 기존 건설용 리프트 운영의 문제점

현재 건설 프로젝트 현장에서의 양중관리는 현장관리자에 의해 일간 양중계획을 전달 작성하는 등의 대처를 세우고 있으나 각 리프트간의 배분 및 사용 효율성은 확인할 방도가 없는 실정이다. 탑승 호출에 대한 반응은 전적으로 리프트 전임 운전수에게 주어지고 있으며, 운전수간 의사소통이 없으므로 그림 3과 같이 동선의 중복 등의 문제는 피할 수 없는 문제이다.

그림 3. 의사 소통의 부재로 인한 낭비 동선

그림 4은 현장에 센싱 데이터를 기록한 값으로써 그림 3의 원인으로 인해 발생하는 무의미한 이동 출력 값이 기록된 것을 확인할 수 있다.

무의미한 낭비 동선에 의한 출력값

기록일	출발시간	도착시간	운행시간	누적시간	출발층	도착층	이동거리	누적거리	최고속도	평균속도	하중
YYYY-MM-DD	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	HH:MM:SS	FLOOR	FLOOR	Meter	Meter	M/분	M/분	TON
2013-04-15	7:23:17	7:23:36	0:00:19	0:06:34	-3	1	17.23	441.53	93	56.8	1.75
2013-04-15	7:24:21	7:24:53	0:00:32	0:07:06	1	9	39.51	481.04	93	76.5	0.77
2013-04-15	7:25:15	7:25:37	0:00:22	0:07:28	9	14	22.37	503.41	93	63.7	0.45
2013-04-15	7:25:54	7:26:05	0:00:11	0:07:39	14	13	4.47	507.88	67	27.7	0
2013-04-15	7:26:20	7:26:43	0:00:23	0:08:02	13	1	22.75	530.63	93	62.4	0
2013-04-15	7:26:47	7:27:26	0:00:39	0:08:41	1	-3	52.17	582.8	93	81.3	0
2013-04-15	7:28:03	7:28:22	0:00:19	0:09:00	-3	1	18.12	600.92	93	59.6	1.69
2013-04-15	7:28:53	7:29:26	0:00:33	0:09:33	1	9	39.78	640.7	93	75.5	1.75
2013-04-15	7:29:49	7:29:59	0:00:10	0:09:43	9	10	5.45	646.15	92	37.3	1.1
2013-04-15	7:30:18	7:30:26	0:00:08	0:09:51	10	11	4.21	650.36	65	32	1.45
2013-04-15	7:30:39	7:30:47	0:00:08	0:09:59	11	12	4.16	654.52	66	32.2	1.23
2013-04-15	7:31:06	7:31:18	0:00:12	0:10:11	12	14	8.41	662.93	92	47.4	1.02
2013-04-15	7:31:49	7:32:05	0:00:16	0:10:27	14	12	9.41	672.34	93	36.9	0
2013-04-15	7:32:35	7:32:51	0:00:16	0:10:43	12	9	14.01	686.35	93	56.9	0
2013-04-15	7:33:25	7:34:09	0:00:44	0:11:27	9	-3	56.69	743.04	93	77.3	0
2013-04-15	7:34:43	7:35:02	0:00:19	0:11:46	-3	1	18.1	761.14	93	59.1	1.59
2013-04-15	7:35:29	7:36:04	0:00:35	0:12:21	1	9	40.45	801.59	93	71.4	0.81
2013-04-15	7:36:06	7:36:21	0:00:15	0:12:36	9	11	9.75	811.34	93	41.4	0.43
2013-04-15	7:36:39	7:36:50	0:00:11	0:12:47	11	12	4.26	815.6	51	25.6	0.42
2013-04-15	7:37:17	7:37:28	0:00:11	0:12:58	12	14	8.34	823.94	93	49.9	0.45
2013-04-15	7:37:54	7:38:47	0:00:53	0:13:51	14	1	64.91	888.85	93	74.9	0
2013-04-15	7:39:16	7:39:33	0:00:17	0:14:08	1	-3	17.23	906.08	93	65.3	0.1
2013-04-15	7:40:19	7:40:36	0:00:17	0:14:25	-3	1	17.25	923.33	93	67.6	1.67
2013-04-15	7:41:03	7:41:35	0:00:32	0:14:57	1	9	39.53	962.86	93	76.2	2.39
2013-04-15	7:41:55	7:42:06	0:00:11	0:15:08	9	10	5.73	968.59	89	35.1	1.96
2013-04-15	7:42:28	7:42:38	0:00:10	0:15:18	10	11	4.16	972.75	44	27.7	1.44
2013-04-15	7:42:57	7:43:06	0:00:09	0:15:27	11	12	4.17	976.92	67	31.9	1.02
2013-04-15	7:43:26	7:43:45	0:00:19	0:15:46	12	14	9.25	986.17	92	32	0.52
2013-04-15	7:44:42	7:44:54	0:00:12	0:15:58	14	12	8.44	994.61	93	46	0
2013-04-15	7:45:11	7:45:57	0:00:46	0:16:44	12	1	38.65	1033.26	93	73.9	0
2013-04-15	7:45:58	7:46:15	0:00:17	0:17:01	1	-3	17.46	1050.72	93	65.6	0
2013-04-15	7:46:35	7:46:51	0:00:16	0:17:17	-3	1	17.2	1067.92	93	64.9	0.44

그림 4. 낭비동선에 의한 의미 없는 운행기록

또한, 리프트의 운행과 수직 조닝에 있어 수학적 모델기반이 아닌 관리자의 직관에 의존하므로 객관화된 의사결정이 불가능하고 공정과 무관한 단순편의를 위한 리프트의 사용이 빈번히 발생한다. 이는 건물의 높이가 상승할수록 낭비동선의 거리가 길어져 그 비효율성이 가파르게 증대된다.

2.2 수직 양중 장비 관련 연구 고찰

건설 리프트 양중계획에 관한 연구는 국내외에서 1990년대부터 초고층 건축물의 증가로 그 중요성이 부각되고 있는 현재까지 지속적으로 진행되고 있다(신윤석 2010).

10여 년간에 걸쳐 실행된 건설용 리프트에 대한 많은 연구는 리프트의 운행관리 보다는 리프트 양중계획에 많은 포커스를 맞추고 있다. 건설 리프트 및 기타 수직 양중장비에 대한 주요 연구들을 정리해보면 다음 표 1과 같다.

표 1. 건설 수직 양중 장비 관련 연구 동향

구분	저자 (연도)	연구 내용
리프트 양중관리 관련	안병주 (2001)	건설 리프트 장비계획 및 운영계획 프로세스를 바탕으로 수평이동과 수직이동을 모두 고려한 모델을 제시
	김동진 외 2인 (2002)	건설 리프트에 대한 실무적인 양중계획 방법들과 그 문제점을 파악하고 양중횟수를 기준으로 양중계획을 수립할 것을 제안
	안병주 (2004)	작업원의 수직이동계획 프로세스에 대하여 이산사건 시뮬레이션을 이용하여 대안의 적정성을 검토할 수 있는 방안을 제시
	이학주 외 3인 (2008)	자재 인력의 대기시간과 확률을 고려한 큐잉(Queueing)이론 기반의 시뮬레이션 모델 제언
리프트 양중관리 관련	김성국 (2008)	양중 담당자가 리프트를 선정 시 경험과 직관으로 선정하는 과거 방식을 탈피하여 객관적이고 체계적으로 양중대수를 선정할 수 있는 구체적인 방법과 프로세스를 제시
	조창연 (2011)	건설 리프트의 성능에 따라 리프트의 배치 및 양중시간을 선정 자재의 트래킹에 초점을 맞추고 있으며 이를 위해 RFS와 같은 장비를 리프트 카에 설치
	신윤석 (2011)	단순 약산식에서 벗어난 현실적인 영향요인들에 대한 고려를 실시. 보다 실제적인 수직양중계획 수립을 시도
	R. Sacks (2005)	자동화 리프트에 모니터링 시스템을 제안하고 관련 필요 장비 및 시스템 구성에 대한 방법을 제시
	조창연 (2011)	타워크레인 양중장비계획 수립에 필요한 양중시간 예측모델을 제언
타워 크레인 양중관리 관련	이종렬 (2004)	고층용 건축물의 실제적 타워크레인 양중 모델을 제언
	이정원 (2010)	건축계획의 초기단계에서 엘리베이터 계획 프로그램 개발을 위한 알고리즘에 대해 제시
Elevator 분배 시스템 관련	P. Cortes (2004)	유전자 알고리즘을 통한 효과적 엘리베이터 분배 컨트롤러의 제안하고 가장 많이 발생하는 운행 상황을 분석하고 waiting time analysis를 통해 데이터 기반의 분석 실시

국내외 연구들을 고찰한 결과, 리프트 관련 연구의 경우 프로젝트가 시작되기 이전에는 리프트의 조합/배치 및 수직이동 계획수립에 관한 연구가 지배적이며 프로젝트가 착수된 이후 리프트 카의 컨트롤에 대한 연구는 전무한 실정이다. 사용시기와 대상이 다르지만 그 활용 목적성에서 건설용 리프트와 유사한 성격을 갖는 엘리베이터 시스템의 경우 다양한 확률 알고리즘에 근거한 운영 시스템에 관한 연구가 상당수 이루어져 왔지만, 건설용 리프트와 달리 엘리베이터 시스템은 건물 내부 Core에 중앙집중형 배치 구조를 띠므로 각 Mast별 분산구조를 가지는 건설용 리프트와 장비구성과 컨트롤 방식에서 차이점을 보인다. 따라서 본 연구에서는 건설용 리프트의 특성을 고려한 리프트 컨트롤 장치 및 분배 시스템을 제시하고 한다.

2.3 목적 층 입력 시스템

건설용 리프트는 앞서 언급한 바와 같이 시설물의 배치 형태와 장비 구성에 있어 빌딩용 엘리베이터와 차별성을 가지고 있지만 활용목적에 있어 유사성을 띄고 있기 때문에 엘리베이터 제어 기술에 대한 고찰을 동반할 필요성이 존재한다.

초기의 승강기 제어방식은 상승과 하강 호출 버튼을 설치하여 승강기 호출을 예약했다. 그러나 고층화에 따른 복잡한 승강기 교통수요와 배치로 다양한 방식의 승강장접근경로에 맞

는 승강기 교통제어가 필요하게 되어, 여러 형태의 군 관리 제어방식이 개발되고 적용되었으나, 기본적인 승강기 호출과 호출에 응답하여 도착한 승강기를 탑승한 후에, 또 다시 행선 층을 등록하는 전통적인 방식을 벗어나지 못하고 있었다.

목적 층 입력 시스템 혹은 도착지 제어 시스템이라 불리는 방식은 Car 내에 운전판을 얹어고, 승강장 진입 시 단한 번 목적 층을 등록하여 승강기를 호출 및 자동적으로 등록 층으로 승객을 수송할 수 있는 방식으로써 복잡한 승강기 탑승 프로세스와 심리적 불안 및 대기시간을 단순하게 처리하도록 돕는데 용이한 방식이다.

본 연구에서는 목적 층 입력 시스템 다른 행선 층의 승객으로부터의 방해 발생 상황을 줄여주는 장점과 공정과 연관된 건설용 리프트의 특성 간 시너지 효과를 고려하여 최적 리프트 운행 시스템의 리프트 호출 기반 시스템으로 선정하였다.

3. 건설용 리프트 운행 방식에 대한 개선 방안 검토

3.1 ELIS(Embedded Lift Information System)

본 연구에서는 제안하는 최적 리프트 컨트롤 시스템은 센싱정보를 기반으로 하며 실시간 리프트의 동작상태를 판단하기 위해 프로젝트 현장 내 전체 리프트 카의 정보를 일괄 수집하고 저장하는 장치가 요구된다. 운용정보를 파악할 수 있는 로드셀, 엔코더 센서 등 총 6가지의 센서를 각 리프트에 설치하였으며 중앙 데이터베이스 저장소에 저장하여 운행 분석의 기반 데이터로써 활용하였다. 표 1에 나타난 6가지 센서는 또한 리프트 카의 소모품 주기 및 유지보수를 위한 데이터로써 활용 된다.

표 2. 수직 양중 정보 수집 센서

	요소 센서 기술	측정 데이터	출력데이터
엔코더	피니언기어 회전거리	이동거리
			운행속도
			정지 층
로드셀	적재 하중	양중량(하중)
분할 변류기	사용 전력량	소비 전력량
전류센서	모터 공급 전류량	과부하 발생 신호
리미트스위치	케이블 장력	케이블 차집 발생 신호
근접센서	롤러와의 거리	가이드롤러 마모 발생 신호

※ 초고층빌딩 시공기술연구단 3차년도 경회대(2012)

ELIS(Embedded Lift Information System)는 각각의 리프트카에 설치된 6가지의 센서(엔코더, 로드셀, 분할변류기, 전류센서, 리미트 스위치, 근접센서)로부터 리프트 소모품 주기 측정을 포함하여 위치, 속도, 양중하중, 이동방향 등을 파악할 수 있는 정보를 중앙장치 내에 배열시키는 역할을 한다(데이터 수집 방식은 분산형 배치 형식을 띄는 건설용 리프트에 맞게 무선통신을 사용). 현장관리자는 현장 내 설치된 리프트 카의 이상 유무 및 작동상태를 소프트웨어 디스플레이를 통해 관찰할 수 있으며 시스템 인터페이스는 그림 5와 같다.

그림 5. ELIS(Embedded Lift Information System) 디스플레이

ELIS는 프로젝트 전체 기간 동안 각 리프트의 동작기록을 데이터베이스에 저장하여 이동경로 및 리프트 간 비교를 통한 가동률을 분석 가능케 한다. 저장된 기록은 그림 6과 같이 마이크로소프트 엑셀 시트형식으로 출력이 가능하며 유동적인 리프트 수직 조닝 재설정에 영향을 준다.

그림 6. ELIS를 통한 엑셀기반 운행 기록 데이터 샘플

3.2 센싱 데이터를 활용한 최적화 리프트 운행

3.2.1 최적 리프트 선정 평가 방법

개별 센서를 통해 수집된 정보는 ELIS에 나열 되어 리프트

카 호출이 발생하였을 때, 호출에 대응할 운행 리프트 카의 선정 알고리즘의 주요 요소로서 작용한다. 그림 7은 최적 리프트 선정 흐름도를 나타내며 리프트 카의 진행방향, 현재위치, 양중하중에 따라 후보군을 제거해가며 최적의 대응을 할 수 있는 리프트 카 선정 프로세스를 나타낸다.

그림 7. 최적 리프트 카 선정 프로세스

최적 리프트 선정 프로세스는 명령 발생이 일어난 위치가 소속된 수평 그룹(혹은 동일 마스트)내의 모든 리프트 카를 후보군으로 배열하고 프로세스 단계 간 조건을 만족하지 않는 후보군을 제거해 나가는 형식을 가지고 있다.

① 현재 리프트 카 내에 한계적재용량의 70%를 초과한 경우 이후 양중명령의 수송량에 대응하지 못할 것으로 가정하고 우선적으로 최적 리프트 후보군에서 배제한다. 프로그램 상의 구현은 아래와 같은 연산을 거친다.

① - ① 계산

```

public static decimal 현수송부하량산출(int 현재적재하중, int 한계적재하중)
return (현재적재하중 / 한계적재하중) * 100;
    
```

① - ② 산출

```

var lifts = liftList.Where(lift => Formula.현수송부하량산출(lift.Info, 적재하중, lift.Info.한계적재하중) < 75);
    
```

② 특정 리프트 카가 이전에 발생한 명령을 수행 중에 전체

계획 동선이 아닌 잔여동선이 현재 발생한 명령의 동선을 수용하는 경우 해당 리프트는 현 발생명령에 대한 최적 리프트로 선정되며 프로세스는 종료 된다. 다음과 같은 경우의 여부를 판단하기 위해서는 상차동선의 파악 후 하차동선내의 동선 포함 여부를 판단하는 연산을 거친다.

② - ① 동선포함여부 판단

```

private bool 동선포함여부(int 현재층, IEnumerable<LiftActionEntity> cycleList, Entity.CycleUnitEntity entity)
    
```

```

bool 상차동선 = false;
    
```

```

int 이전층 = 현재층;
    
```

```

foreach (var cycle in cycleList)
    
```

```

if (상차동선 == false
    
```

```

    && 이전층 <= entity.상차층 && entity.상차층 <= cycle.목적층)
    
```

```

    상차동선 = true;
    
```

```

if (상차동선 == true
    
```

```

    && 이전층 <= entity.하차층 && entity.하차층 <= cycle.목적층)
    
```

```

    return true;
    
```

```

    이전층 = cycle.목적층;
    
```

```

return false;
    
```

② - ② 산출

```

lifts = lifts.Where(lift => 동선포함여부(lift.Info, 현재층수, lift.ToActionStateEnumerable(), entity) == true);
    
```

② - ③ 반환

```

if (lifts.Count() == 1)
    
```

```

return lifts.First();
    
```

③ 프로세스 ②에서 조건을 만족하는 리프트 카가 존재하지 않는 경우, 정지상태 혹은 이전 명령의 [탑승→하차] 방향과 발생명령동선이 동일한 리프트를 검토하고 나머지 후보군은 제외시킨다.

③ - ① 조건 판단

```

private bool 동일수행방향여부(LiftActionEntity prevCycle, Entity.CycleUnitEntity entity)
    
```

```

if (prevCycle.방향 == entity.방향)
    
```

```

    return true;
    
```

```

return false;
    
```

③ - ② 산출

```

lifts = lifts.Where(lift => 동일수행방향여부(lift.ToActionStateEnumerable().First(), entity) == true);
    
```

④ 이전 프로세스의 조건을 만족하는 후보군을 나열하고 명

령이 발생한 위치에 리프트 카를 배치하는 예상 이동시간을 계산하여 최단 이동 시간을 가지는(자재와 인력의 대기시간을 최소화) 리프트 카를 선정하여 양중 명령을 내린다.

```
if (lifts.Count() == 0)
int min = liftList.Min(lift => lift.GetActionStateCount());
return liftList.First(lift => lift.GetActionStateCount() == min);
```

3.2.2 리프트 카 배치 예상 시간 계산

최적 리프트 선정 프로세스내의 이동 시간 계산은 식 (1), (2), (3), (4)과 같은 리프트 사이클 타임 방정식에 기반을 둔다. 리프트 운행 변수를 문열림시간(D_1), 문닫힘시간(D_2), 전체 이동시간(T_{os}), 상하차시간(L)를 두면 자재 및 인력을 탑승위치로부터 목적층까지 양중시키는데 걸리는 싸이클 타임은 식 (1)과 같다.

$$\bullet \text{ Cycle} = (D_1 + D_2) \cdot 2 + T_{os} + L \quad (1)$$

$$\bullet T_{os} = t_1 + T + t_2 \quad (2)$$

$$\bullet T = (H - h_1 - h_2)/V \quad (3)$$

$$\bullet t_1 = \sqrt{h_1/a_2} \quad t_2 = \sqrt{h_2/a_2} \quad (4)$$

전체 이동시간(T_{os})은 가속하는데 걸리는 시간(t_1), 정격속도로 이동하는 시간(T), 감속하는데 걸리는 시간(t_2)의 합으로 구성되며 각 시간구성요소는 배치된 리프트의 정격속도(V), 감/가속도(a_1/a_2), 감/가속거리(h_1/h_2)와 같은 정격규격과 이동거리(H)에 의해 산출된다. 그러나 식 (1)은 단순 상차와 하차로 구성된 1Cycle을 의미하므로 명령요청이 발생한 층에 리프트 카를 배치하는 시간을 고려한 합산 싸이클 방정식이 필요하다.

리프트 카를 배치하는데 걸리는 시간, 즉 호출 요청 수행 시간(T_a)은 두 가지의 경우를 고려할 수 있다.

1) Case 1(정지 상태 중 최적리프트로 선정된 경우)

$$\bullet T_a = t_1 + T_c + t_2 \quad (5)$$

$$\bullet T_c = H_c - h_1 - h_2 / V \quad (6)$$

정지 상태 중 호출 요청 수행 시간(T_{a1})는 식(5), 식(6)과 같으며 호출 요청 수행 중 정격속도로 이동하는 시간(T_c)은 호출 요청 수행을 거리(H_c)의 영향을 받는다.

2) Case 2(이동 상태 중 최적리프트로 선정된 경우)

$$\bullet T_a = T_c + t_2 \quad (7)$$

$$\bullet T_c = H_c - h_2/V \quad (8)$$

이동 상태 중 호출 요청 명령을 받을 경우 수행 시간(T_{a2})는 가속시간(t_1)을 제외하여 고려되며 식 (7), 식 (8)과 같다.

그리하여 1Cycle 시간과 호출 요청 수행 시간(T_a)의 합과 같으며 T_a 의 경우가 두 가지가 있듯이, 한 대의 리프트 카에 2개 이상의 양중 명령이 걸려 있을 시, 전체 명령 완료 소요시간(T_R) 역시 두 가지의 경우를 고려할 수 있다.

1) Case 1 (3.2.1제시된 리프트 선정 프로세스에서 ②번 의사 결정 단계에서 리프트 선정이 완료된 경우)

$$\bullet T_R = T_a + \text{Cycle}_1 + \text{Cycle}_2 - T_2 - \frac{h_1 + h_2}{V} \quad (9)$$

$$\bullet T_2 = (H_2 - h_1 - h_2)/V \quad (10)$$

이전 명령의 수행 중 잔여 동선이 이후 명령의 동선이 포함되는 경우, 이후 명령의 호출 요청 수행 시간은 제외되고 합산 소요시간(T_R)은 식 (9), 식 (10)과 같다. 식 (9)의 T_2 는 이후 명령의 이동 시간을 의미한다.

2) Case 2 (이전 명령과 이후 명령의 동선이 독립적일 때)

$$\bullet T_R = T_{a1} + \text{Cycle}_1 + T_{a2} + \text{Cycle}_2 \quad (11)$$

이전 명령과 이후 명령의 동선이 독립적이고 리프트에 복수의 명령이 순차적으로 예정되어 있을 때, 식 (11)과 같이 각 명령의 호출요청 수행 시간과 1Cycle의 합계를 통해 전체 명령 완료 시간(T_R)을 예상할 수 있다.

3.3 운행 데이터 분석을 통한 수직 조닝

센싱을 통해 리프트 운행정보를 수집하고 기록하는 ELIS(Embedded Lift Information System)은 자재와 인력이 정차하는 시간과 층수 데이터를 보유할 수 있다. 리프트의 배치 및 조합과 함께 이뤄지는 리프트의 수직 조닝은 리프트 사용의 효율성 증대를 가져다주는 주요 요소라 할 수 있다. 현재 건설 프로젝트 현장 내 리프트 사용 행태를 살펴보면 표 3과 같이 급행 운행 리프트를 두거나 화물용 리프트를 Peak Time시 인승으로 전환하는 기준을 가지고 있으나 공정이나 이벤트에 대처할 수 있는 유동적 리프트 수직 조닝 컨트롤 관리는 미미하다.

표 3. 초고층 프로젝트 현장 내 리프트 사용 사례

구분	L/C #1	L/C #2	L/C #3	L/C #4	L/C #5
양중능력	1,200kg, 40m/min	1,200kg, 40m/min	2,400kg, 90m/min	2,400kg, 90m/min	3,000kg, 80m/min
용도	인승/화물 겸용	인승용	인승/화물 겸용	인승용	화물용
양중범위	B8F - 1F	1, ACS	6F - 42F	6F - 42F	6F - 42F
비고	지하층 전용	ACS 전용	Twin Lift Car	급행운전(5개층 마다 정지)	Peak Time 인승 전환

본 연구에서 제안된 리프트 최적 운행 시스템은 ELIS 데이터베이스와의 연동을 통하여 그림 8과 같이 리프트의 정지층 빈도 분석을 사용자 설정 기간 동안 실시하고 다수의 정지가 예상되는 층을 주요대상으로 수직 구획 설정을 제안한다. 또한, 시스템 내 자유로운 운행구간설정을 통해 어떠한 이벤트라도 관리자의 판단에 의해 조정가능하다.

리프트 운행관리 시스템

운영 명령 관리

구간 관리 시스템

제2롯데월드 신축공사현장

2013-05-30 06:51:15

이전

종료

Zone A (리프트 1 ~ 4)		Zone B (리프트 5 ~ 8)		Zone C (리프트 9 ~ 12)		Zone D (리프트 13 ~ 16)		Zone E (리프트 17 ~ 20)	
원 운행 구간									
1 호기	10-25	5 호기	1-20	9 호기	10-25	13 호기	1-20	17 호기	1-20
2 호기	20-35	6 호기	1-30	10 호기	20-35	14 호기	1-30	18 호기	1-30
3 호기	전구간	7 호기	20-40	11 호기	전구간	15 호기	20-40	19 호기	20-40
4 호기	전구간	8 호기	전구간	12 호기	30-50	16 호기	전구간	20 호기	전구간

추진으로 수정

계명관리

추진 운행 구간

1 호기	10-25	5 호기	1-20	9 호기	10-25	13 호기	1-20	17 호기	1-20
2 호기	20-35	6 호기	1-30	10 호기	20-35	14 호기	1-30	18 호기	1-30
3 호기	전구간	7 호기	20-40	11 호기	전구간	15 호기	20-40	19 호기	20-40
4 호기	30-50	8 호기	전구간	12 호기	30-50	16 호기	전구간	20 호기	전구간

그림 8. 리프트 수직 구간 관리 시스템 U/I

4. 개선 방안에 대한 개발 및 검증

4.1 최적 리프트 운행 시스템

본 시스템은 ELIS(Embedded Lift Information System)에 저장된 센싱 및 운행결과 데이터를 바탕으로 그림 7의 흐름에 따라 단계적으로 최적 리프트 선정 프로세스를 수행한다. 최적 리프트 운행 소프트웨어는 그림 9와 같이 프로젝트 현장 내 전체 리프트 카를 선택항목으로 나열하고 수평 그룹(가설 리프트의 마스트가 인접한 리프트)별로 운행상황을 관리자가 모니터링 할 수 있도록 구현하였다. 그룹의 선택 화면은 사용자가 위치를 구분하기 쉽게 해당 구역의 전경 사진을 기반으로 아이콘화 하였다.

그림 9. 최적 리프트 운행 시스템 시작 화면

본 연구에서 제안한 운행관리 시스템 인터페이스는 그림 10과 같이 크게 3가지 부분으로 구성하였다. 즉 리프트별 위치정보 애니메이션 그래픽, 적재량 및 수행시간 등의 양중 정보, 동선정보 부분으로 구성하였다.

그림 10. 리프트 운행관리 시스템 U/I

위치정보 애니메이션은 사용자가 리프트의 현재 위치를 시각적으로 관찰하는 것을 용이하게 하며 양중 정보 부분은 리프트의 운행 값을 실측데이터와 계산데이터를 수치 자료(numeric data)로써 나타내서 현재층, 적재량, 명령수행완료시간, 가동률 등을 전달하는 역할을 한다. 특히, 가동률은 실시간 누적이동거리를 합산하여 수평 그룹내 리프트 분배를 적절하게 수행하였는가에 대한 의사결정을 돕는다. 리프트 간 가동률 편차가 벌어질 경우 관리자는 리프트의 조합 및 배치를 적절히 수행하였는지에 대한 재검토를 실시할 필요가 있다. 마지막으로 양중 명령 동선 부분은 그래픽 기반으로써 리프트 사용자가 목적층의 입력과 함께 호출 버튼을 누르면 상차, 하차, 이동방향의 정보Set으로 구성되는 아이콘이 해당 리프트에 순차적으로 배열된다.

4.2 개선 시스템에 대한 운영 효율 검증

본 연구를 통해 개발된 시스템의 효율성을 검토하기 위해서는 구축된 시스템이 현재 운행 시스템과 대비해 사용자 대기시간(호출 명령 수행 시간)상에 단축이 발생하였는가에 대한 비교과정이 요구된다.

본 연구에서는 시뮬레이션 비교 검토를 위해 현재 ELIS용 센서가 설치된 실제 현장의 데이터를 수령하여 검증을 실시하였다. 비교 대상 현장은 '송파구 잠실동'에 위치한 초고층 프로젝트 현장이며 현재 16대의(프로젝트 진행에 따른 추가 예정) 리프트 카 양중을 실시하고 있다. 비교 방법은 비교대상 초고

층 현장의 리프트 운행 실적데이터를 센서를 통해 수집한 후, ELIS에 저장하고 엑셀 시트 형식으로 운행 기록을 출력하여 최적 리프트 운행 시스템 상에 호출 명령 사건을 발생시켜 사용자의 대기시간 단축에 대한 효과 검증을 실시하였다.

비교의 대상이 되는 리프트 운행 실적데이터를 가진 현장의 전체 리프트 중 하나의 수평 그룹에 속하는 리프트 카 4대의 장비 모델은 동일하며 장비 사양은 표 4와 같다.

표 4. 시뮬레이션 검증에 투입된 리프트 모델 규격

MODEL	SS-3040
제조사	(주)LIFTEC
최대 양중 용량	3000kg
최대속도	100m/min

매뉴얼상의 장비 사양의 최대속도 100m/min이나 ELIS에 저장된 데이터 실측값을 분석한 결과 실제 리프트 카에 부하되는 최고속도 93m/min로 나타났고 프로그램 내 소프트웨어 기준에 맞춰주기 위해 1.55m/s를 개발 소프트웨어 입력값으로 적용하였다. 또한, 매뉴얼 상에 명시되지 않은 리프트 가속시간은 ELIS 데이터분석을 통해 6sec로 나타났으며, 가속도는 0.26%이다.

센서를 통해 판별되지 않는 상차시간, 하차시간은 기존 초고층 현장 실적 데이터를 반영해 문 열림/닫힘 시간을 포함하여 30sec/1개소를 적용하였다.

비교 대상 현장의 샘플 일자의 리프트 운행 기록을 각 리프트 카 별로 출력하면 그림 11과 같이 나타난다. 본 검증에서는 리프트 카의 호출 발생 명령 시각과 출발 층, 목적 층 정보만이 필요하게 되므로 3가지 정보를 추출해 4대의 샘플 데이터를 호출 명령 사건 발생 시각을 기준으로 하나의 데이터로 병합하면 표 5와 같다.

시	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	기록일	출발시간	도착시간	운행시간	누적시간	출발층	도착층	이동거리	누적거리	최고속도	평균속도	하중	Status								
4	2013-04-15	655221	655336	000017	000017	-3	1	16.68	16.68	93	63.1	0.67	안배터								
5	2013-04-15	655443	655499	000006	000023	1	-3	2.84	19.52	63	31.7	0.15	안배터								
6	2013-04-15	655550	655553	000003	000026	-3	-3	0.5	20.02	21	11.8	0.5	안배터								
7	2013-04-15	655557	656006	000009	000035	-3	1	3.05	23.07	34	23.1	0.46	안배터								
8	2013-04-15	656006	656112	000006	000041	1	1	0.24	23.81	10	9.2	0.61	안배터								
9	2013-04-15	656400	657111	000031	001132	1	9	39.61	63.42	93	79.6	0.87	안배터								
10	2013-04-15	658224	658336	000012	001124	9	10	5.66	69.08	36	29.5	0.49	안배터								
11	2013-04-15	658552	659000	000008	001132	10	11	4.72	73.8	90	41.3	0.53	안배터								
12	2013-04-15	659002	659110	000008	001140	11	12	3.69	77.49	66	32.7	0.34	안배터								
13	2013-04-15	659115	659229	000014	001154	12	15	12.59	90.08	93	58.6	0	안배터								
14	2013-04-15	659331	659339	000008	002022	15	14	3.42	93.5	63	29.6	0	안배터								
15	2013-04-15	659339	659448	000009	002111	14	13	5.01	98.1	85	36.7	0	안배터								
16	2013-04-15	659555	700004	000009	002220	13	11	6.69	105.2	93	49.8	0.12	안배터								
17	2013-04-15	700005	700111	000006	002226	11	10	2.53	107.73	59	28.9	0.48	안배터								
18	2013-04-15	700111	700115	000004	002301	11	11	0.71	108.44	27	15.3	0.48	안배터								
19	2013-04-15	700221	700332	000011	002411	11	9	8.77	118.21	93	59	0	안배터								
20	2013-04-15	700335	701007	000032	003131	9	-3	42.78	160.99	93	81.4	0.3	안배터								
21	2013-04-15	701008	701116	000008	003221	-3	1	3.2	164.19	41	26.5	0.5	안배터								
22	2013-04-15	701143	702114	000031	003352	1	9	39.62	203.81	93	77.5	0.68	안배터								
23	2013-04-15	702148	702254	000006	003358	9	8	1.87	205.48	43	23.7	0.12	안배터								
922	2013-04-15	173634	173651	000017	40528	1	-3	17.12	15138.25	93	64.9	0.14	안배터								
923	2013-04-15	173709	173807	000058	40626	-3	14	78.35	15217.6	93	82.9	0.64	안배터								
924	2013-04-15	173841	173853	000012	40638	14	12	8.59	15296.19	93	48.5	0.29	안배터								
925	2013-04-15	173854	173911	000017	40655	12	8	19.35	15245.54	93	69.1	0.46	안배터								
926	2013-04-15	173928	173956	000028	40723	8	1	34.02	15279.56	93	75.4	0.19	안배터								
927	2013-04-15	174018	174034	000016	40739	1	-3	17.13	15296.69	93	65.6	0.4	안배터								
928	2013-04-15	174050	174147	000057	40836	-3	14	78.37	15376.06	93	85.5	0.58	안배터								
929	2013-04-15	174209	174255	000046	40922	14	1	62.02	15438.08	94	82.3	0	안배터								
930	2013-04-15	174417	174448	000031	40953	1	9	40.59	15478.67	93	81	0.36	안배터								
931	2013-04-15	174448	174453	000005	40958	9	9	1.05	15479.72	32	18.6	0.36	안배터								
932	2013-04-15	174509	174552	000043	41041	9	-3	56.69	15536.41	93	82.2	0.4	안배터								
933	2013-04-15	174618	174634	000016	41057	-3	1	17.35	15553.76	93	69	0.75	안배터								
934	2013-04-15	174654	174727	000033	41130	1	10	44.95	15598.71	93	82.3	0.57	안배터								
935	2013-04-15	174744	174751	000007	41137	10	11	4.57	15603.26	87	40.9	0.16	안배터								
936	2013-04-15	174815	174826	000011	41151	11	9	9.56	15613.7	93	58.2	0.28	안배터								
937	2013-04-15	174827	174829	000002	41153	9	9	0.28	15613.45	15	10.1	0.58	안배터								
938	2013-04-15	174853	174924	000031	41224	9	1	39.53	15652.98	93	78.6	0.6	안배터								
939	2013-04-15	174939	174956	000017	41241	1	-3	17.17	15670.15	93	65.2	0.67	안배터								
940	2013-04-15	175018	175034	000016	41257	-3	1	17.21	15687.36	93	69.3	0.5	안배터								
941	2013-04-15	175239	175256	000017	41314	1	-3	17.11	15704.47	93	65	0.24	안배터								
942	2013-04-15	181431	181448	000017	41331	-3	1	17.21	15721.68	93	66.8	1.34	안배터								

그림 11. 개별 리프트의 운행 기록 출력 데이터

표 5. 호출명령 발생 시간 기준 입력 데이터 set

호출층	목적층	운행 리프트	호출발생시간	탑승대기시간
1	1	2호기	7:03:37	15초
1	-3	2호기	7:03:42	14초
-3	1	2호기	7:04:23	0초
-3	1	3호기	7:07:14	42초
-3	1	1호기	7:09:49	43초
1	-3	2호기	7:11:01	0초
-3	1	2호기	7:11:39	6초

-3	10	4호기	17:51:44	14초
-3	1	2호기	17:52:41	18초
1	-3	3호기	17:53:47	11초
-3	1	2호기	17:54:42	16초
-3	1	1호기	17:57:59	29초
1	14	1호기	17:58:45	0초
전체 리프트 대기시간				8시간 35분 44초

표 5의 데이터를 최적 리프트 운행 시스템의 발생사건 데이터로써 입력하면 각 사건의 입력을 수신하는 리프트의 배정이 표 6과 같이 수정된다.

표 6. 제안된 시스템에 의해 재배정된 리프트 데이터

호출층	목적층	운행 리프트	호출발생시간	탑승대기시간
1	1	2호기	7:03:37	15초
1	-3	4호기	7:03:42	0초
-3	1	1호기	7:04:23	0초
-3	1	3호기	7:07:14	17초
-3	1	1호기	7:09:49	14초
1	-3	3호기	7:11:01	0초
-3	1	4호기	7:11:39	0초

-3	10	1호기	17:51:44	28초
-3	1	3호기	17:52:41	15초
1	-3	4호기	17:53:47	8초
-3	1	3호기	17:54:42	15초
-3	1	4호기	17:57:59	0초
1	14	3호기	17:58:45	0초
전체 리프트 대기시간				6시간 42분 28초

표 5와 같은 형태의 비교 대상 현장의 각 리프트의 대기시간 합계를 추출하면, 4대의 리프트 카에서 표 7의 샘플 일자의 리프트 가동 조건(AM 7:00 ~ PM 6:00)동안 8시간 35분 44초의 수평 그룹 내 전체 사용자 대기시간이 발생하는 것을 알 수 있다.

표 7. 일간 리프트 가동 정보 샘플

항목	가동 정보 샘플
호출 명령 발생 건수	1644건
가동시간	AM 7:00 ~ PM 6:00(11시간)
운영 최고 높이	17층(73M)

이와 비교해 표 5와 같은 호출 명령 발생 시각, 출발 층, 목적 층 데이터 set을 최적 리프트 운행 소프트웨어에 입력시키고 시스템 인터페이스 상의 리프트 카 이동 애니메이션에 대해 총 20회의 동작 분석¹⁾을 실시하였다. 이를 통해 표 5와 동일한 시간동안 6시간 42분 28초의 전체 사용자 대기시간이 나타난다. 따라서 1일 동안 최적 리프트 운행 시스템과 현재 운행 시스템 간에 1시간 53분 16초의 전체 사용자 대기시간 차가 나타나며 이는 제안된 시스템을 통하여 21.83%의 사용자 대기 시간 단축을 이끌어냈음을 의미한다. 발생하는 호출 명령의 사건 수가 같고 전체 운행 구간의 범위가 2배로 확장 될수록 사용자 대기시간의 차이 또한 2배수씩 정비례하여 증가한다고 가정하였을 때 4대의 리프트 카 샘플을 기준으로 100층 내외의 범위를 운행하고 있는 리프트 그룹의 경우 10시간 37분 내외의 사용자 대기시간 차이가 발생할 것으로 예상된다.

실제 현장 데이터를 바탕으로 데이터 분석을 실시했을 때 또 하나의 주목 할 점은 그림 11의 전체 운행기록에서 발생하는 낭비 동선 거리, 즉 하중이 걸려있지 않거나 호출 명령 수행이 아닌 이동거리의 샘플 리프트 카 4대 총합이 9시간 22분 55초, 35409m로 검출되었다. 그러나 본 연구에서 제안된 시스템에서는 이러한 낭비동선에 대한 여지가 철저히 배제되며 이는 리프트 카의 소모품 주기 연장에 막대한 영향을 끼친다.

5. 결론

국내의 건축물이 고층화 영향에 의해 양중해야 할 자재의 수와 이동 동선의 거리가 크게 증가하고 있고 초기 단계의 양중 계획에 대한 연구가 꾸준히 이뤄져왔으나 초기 단계의 양중계획으로 기반으로 프로젝트 진행 단계에서 발생하는 모든 양중 변수에 대한 적절한 대응에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 즉, 각각의 호출 명령 사건에 대해 최적의 리프트 카를 배치시키는 의사결정이 곤란하고 필요치 않는 낭비 동선의 발생으로 인해

리프트 카 소모품 주기 단축의 결과를 유발할 수 있는 가능성을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 ELIS(Embedded Lift Information System)시스템의 개발을 통해 리프트에 부착된 6가지 센서(엔코더, 로드셀, 분할변류기, 전류센서, 케이블 장력, 가이드 롤러 마모 근접센서)로부터 각 리프트의 개별 운행 정보를 수집/저장/디스플레이 하고 수집 데이터를 바탕으로 건설용 리프트 특성을 고려한 최적 리프트 선정 의사결정 프로세스를 거침으로써 리프트 분배 시스템을 제시한 동시에, 사용자의 리프트 대기 시간의 최소화시키는 개선 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 GUI(graphic user interface) 출력 방식을 통하여 관리자가 개선된 리프트의 운행 현황을 판별하기 용이한 형태로 개발되었다.

그리고 제안된 시스템의 효용성을 검토하기 위해서 실제 초고층 프로젝트의 리프트 운행 실적을 대상으로 개발 소프트웨어 시뮬레이션을 통하여 사용자 대기 시간 단축 효과를 검증해 보았다. 그 결과, 본 연구에서 제안한 시스템은 동일한 호출 명령 사건 발생 조건 내에서 사용자 대기 시간 감축의 효과에 있어서의 효용성을 드러냈다. 또한, 리프트 카 배치 예상시간 계산식을 거친 객관적 리프트 배치 프로세스를 통해 동선의 중복에 의해 발생하는 장비의 낭비를 철저히 방지하였으며 실시간 축적 데이터에 기반으로 한 리프트 수직 조닝 재설정 방식을 제안하였다.

제안된 시스템에서의 기반 데이터는 비교 대상 현장에 설치된 센서로부터 수집되기 때문에 공정의 진행 및 리프트 운행 구간의 범위가 증대될수록 그 효용가치 및 비교 검증의 정확도는 프로젝트가 진행됨에 따라 상승한다.

그러나 본 연구는 초고층 현장의 프로젝트가 진행됨에 따라 필연적으로 발생 가능한 호출 명령 간의 돌발 변수에 대한 지속적인 대응이 요구된다. 또한, 프로젝트 진행 기간 동안 지속적인 비교 검증을 통해 운행 구간 범위의 증대와 사용자 대기 시간차이의 연관성에 대한 실증적 결과를 도출하기 위해 보다 넓은 공정 단계에서의 비교 검증을 진행할 것이다. 그리고 유동적 수직 조닝의 방안에 대해서도 빈도 분석을 바탕으로 실제 현장에 도입 가능한 의사결정 시스템을 수립해야 할 것이다. 그리고 점심시간대, 출퇴근시간대 등의 peaktime의 운영방식에 대한 새로운 고찰이 요구된다.

끝으로, 본 연구는 수학적 모델과 소프트웨어 의사결정을 기반으로 한 운행시스템의 시발점이 되므로 연구 프로젝트 전 기간에 걸친 검증을 통한 무인 스마트 리프트의 기반 시스템으로 정착이 될 것으로 예상된다.

1) Gilbreth가 인간의 심리적, 생리적 작업 효율성을 위해 사용한 동작, 시간 분석기법으로써 본 연구에서는 인간이 아닌 소프트웨어상의 리프트 애니메이션을 대상으로 움직임과 시간을 분석함

감사의 글

이 논문은 국토교통부의 u-City 석·박사 과정 지원 사업으로 지원되었습니다.

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호 #09 첨단도시A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 강용탁 (2007). “건설용 리프트카 무인자동운전장치 건설현장 적용에 관한 연구”. 건설안전기술, pp. 86~99
- 김선국 · 한갑규 (2008). “건설 리프트의 적정 대수 산정에 관한 연구”. 한국건축시공학회 논문집, 제6권 제3호, pp. 119~125
- 김동진 · 송영석 · 임형철 (2002). “고층건축공사의 리프트 양중계획 합리화”. 대한건축학회 논문집, 제22권 제2호, pp. 483~486
- 신윤석 · 강경인 (2010). “이산사건 시물레이션을 이용한 초고층 건축공사 건설 리프트 양중계획 모델”. 한국건설관리학회 논문집, 제9권 제26호, 한국건설관리학회, pp. 119~127
- 신윤석 (2011). “초고층 건축공사를 위한 건설 리프트 양중계획 시스템 개발”. 대한건축학회 논문집, 제27권 제22호, pp. 227~235
- 안병주 (2001). “초고층건물공사 마감자재의 수직·수평이동 계획이 통합된 의사결정모델”. 한양대학교 박사학위 논문
- 김재준 · 안병주 (2004). “이산형 시물레이션을 사용한 초고층 빌딩 공사 운반 작업의 최적화”. 대한건축학회 논문집, 제17권 제2호, pp. 1377~1383
- 이종렬 · 전용석 · 박찬식 (2004). “고층건축공사 타워크레인 양중시간 예측모델”. 정기학술발표대회 논문집, 제5권, 한국건설관리학회, pp. 472~475
- 이학주 · 김대원 · 조훈희 · 강경인 (2008). “큐잉이론을 이용한 고층건물 가설리프트 계획 모델 구축에 관한 연구”. 정기학술발표대회 논문집, 제8권, 한국건설관리학회, pp. 635~640
- 조창연 · 권순욱 · 신태홍 · 진상윤 · 김예상 (2011). “A development of next generation intelligent liftcar toolkit for vertical material movement management”. Automation in Construction, 20, No. 1, pp. 14~27
- 조창연 · 조문영 · 신윤석 (2012). “이산사건 시물레이션을 이

- 용한 고층건축공사의 타워크레인 양중시간 예측모델”. 한국건설관리학회 논문집, pp. 151~158
- 최광수 · 김학길 · 김용수 (2002). “건설용 리프트의 사용실태 조사 및 문제점 분석에 관한 연구”. 대한건축학회 논문집, 제22권 제2호, pp. 479~482
- Leung, Arthur W. T. Tam, C. M. and Liu, D. K (2001). “Comparative study of artificial neural networks and multiple regression analysis for predicting hoisting times of tower cranes”. Building and Environment, Vol. 36 No. 4, pp. 457~467
- R, Sacks. Navon, R. and Shapira, A (2005). “Feasibility of Automated Monitoring of Lifting Equipment in Support of Project Control”. Journal of construction Engineering and Management, Vol. 131 No. 5, pp. 604~615
- Zhang, P., Harris, F. C., Olomolaiye, P. O. and Holt, G. D (1999). “Location optimization for a group of tower cranes”. Journal of construction engineering and management, Vol. 125 No. 2, pp. 115~122

논문제출일: 2013.05.31

논문심사일: 2013.06.07

심사완료일: 2013.07.10

요 약

건축물이 고층화, 대형화 될수록 수직 양중 계획 및 운영에 관한 중요성이 부각되고 있다. 이에 프로젝트 초기 단계에 실제 모델과 유사한 건설용 리프트 양중계획을 수립하려는 노력이 계속되고 있지만 프로젝트 착수 후 리프트 운영을 컨트롤 할 수 있는 시스템은 부재한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 건설용 리프트 운영 효율증대를 위하여 센서를 사용한 리프트 운행 정보를 수집하고 실시간 분석이 가능한 건설용 리프트 최적화 운행 시스템 개발을 실시 및 검증 단계를 수행하여, 양중 효율의 지표가 되는 사용자 대기 시간의 단축을 도모하고 향후 무인 스마트 리프트의 초석이 되는 시스템을 제시하고자 한다.

키워드 : 건설용 리프트, ELIS(Embedded Lift Information System), 최적 리프트 카 선정 프로세스