

초고층 프로젝트 양중 계획의 실패 유형별 핵심 리스크 요인 분석

An Analysis of The Critical Risk Factors in Failure Cases of Lifting Equipment Plans in High-rise Construction Project

김남균* 김예상**
Kim, Nam-Gyun Kim, Yea-Sang

Abstract

Recently, not only around Korea but also other countries shows a pattern of arising high-rise building construction project which was delayed or aborted during global economic crises and recession. Although the market starts to stretch, It is getting competitive to win a contract in high-rise construction project between contractors due to lack of competitive advantage especially to Korea contractors. To get that, Korean contractors needs lifting equipment plan. But currently, they depend on the empirical methods and that cause schedule delay, not controlled cost management problem. Therefore, this research is to improve the accuracy of Lifting plan by analyzing the current issues of Lifting plan system and deducing the types of failures with planning factors, as well as analyzing the impact on schedule and cost control and safety management by each failure mode. Also, by analyzing detail risk factors per Lifting Equipment with FMEA, to infer the critical risk factor on high-rise construction project.

Keywords : *High-rise Construction Project, Lifting Plan, Lifting Equipment Plan, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), Critical Risk Factor*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내·외 대도시를 중심으로 글로벌 경제 위기와 부동산 경기 침체로 중단되거나 연기되었던 초고층 프로젝트들이 재개되고 있으며 최고높이 1km가 넘는 사우디아라비아의 킹덤타워와 같은 기존의 초고층 빌딩 규모를 뛰어넘는 프로젝트들이 계획 및 실행되고 있다. 이러한 초고층 건축물은 일반 건축물에 비하여 시스템이 복잡해지고 높이가 크게 증가되는 반면 전체 공사기간의 증가는 미미하기 때문에 초고층 건축물 시공에는 일반 건축물과는 다른 새로운 재료 및 공법이 적용

된다. (홍영탁 2004)

특히 초고층 프로젝트의 양중계획은 전체 프로젝트의 근간이 되는 중요한 요소로서 부적절한 양중계획은 양중장비의 효율성과 시공능률을 저하시키며 공사비증가와 공기지연을 초래하기 때문에(김선국 외 2008) 일반 프로젝트에서는 고려되지 않았던 모든 잠재적 리스크 요인을 고려하여 계획되어야 한다. 하지만 현재 각 건설사의 양중계획은 기존 일반 프로젝트에서 축적된 실적과 장비 업체의 기술보조를 바탕으로 담당자의 경험이나 주관에 의해 결정되기 때문에, 양중계획 오류로 인한 현장 전체의 공기 지연 및 원가 관리 실패의 문제가 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 체계적인 관리를 통한 리스크의 최소화가 요구된다.

* 일반회원, 성균관대학교 대학원 초고층장대교량학과 석사과정, outtorun@skku.edu

** 중신회원, 성균관대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), yskim2@skku.ac.kr

이에 본 연구는 초고층 프로젝트 양중계획 실패 유형에 따라 전체 프로젝트의 공정, 원가, 안전에 미치는 영향을 분석한 후, 이를 바탕으로 FMEA 기법을 이용하여 타워크레인(이하 T/C), 리프트카(이하 L/C), Concrete 타설 장비로 구분된 양중 장비별 세부 리스크 요인들의 위험도를 분석하고, 핵심 리스크 요인을 도출하여 초고층 프로젝트 양중계획의 체계적인 리스크 관리를 위한 기초 자료를 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 절차

본 연구는 초고층 프로젝트의 근간이 되는 양중계획을 대상으로 하였다. 연구의 범위는 T/C, L/C, Concrete 타설 장비의 실패 유형별 리스크 요인을 도출한 후, FMEA 기법을 이용하여 각 리스크 요인들의 정량화를 통한 핵심 리스크 요인을 도출하는 것으로 한정하였으며 구체적인 수행 방법은 다음과 같다.

- (1) 관련 문헌 조사를 통해 초고층 프로젝트의 양중장비 계획과 관련된 연구 경향에 대하여 조사하고 FMEA 기법을 이용한 리스크 요인 분석을 통해 얻을 수 있는 기대효과를 분석한다.
- (2) 기존 문헌 조사 및 국내 대형 건설사 양중계획 담당자들의 인터뷰를 통해 양중계획 프로세스 및 실패 유형을 도출하고 각 양중 장비 계획 요소별 리스크 요인을 분석한다.
- (3) (2)의 실패유형 및 리스크 요인에 따라 설문지를 작성하고 초고층 프로젝트 유경험자 및 실무자를 대상으로 설문 조사를 실시한다.
- (4) 회수 된, 설문지 분석을 통하여 양중계획 실패 유형에 따른 전체 프로젝트의 공정, 원가, 안전에 미치는 영향도를 분석하고 세부 계획 요소별 핵심 리스크 요인을 도출한다.

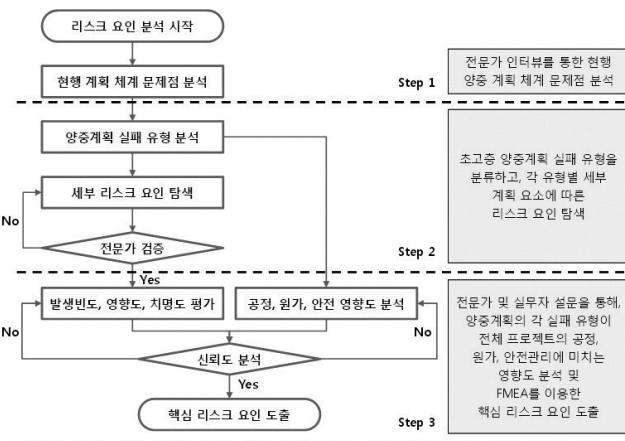


그림 1. 핵심 리스크 요인 도출을 위한 본 연구의 절차

2. 이론적 고찰

2.1 리스크 관리의 개념

기존의 다양한 연구에서는 리스크를 프로젝트의 목적 달성에 영향을 미치는 다양한 요인들로 인해 발생하는 부정적 사건의 발생가능성과 그 심각성 등의 포괄적 의미로 정의하고 있다.

리스크 관리는 일련의 과정으로 구성되는데, 미국프로젝트관리협회(PMI)에서는 리스크 관리의 과정을 Risk Identification(리스크 규명), Risk Quantification(리스크 정량화), Risk Response Development(리스크 대응 방안 수립), Risk Reponse Control(리스크 관리의 수행)으로 정의하였다.

본 연구에서는 다음 그림 2와 같이 양중장비 계획의 실패 유형별 리스크 요인을 규명하고, 리스크 정량화를 통한 핵심 리스크 요인을 도출하는 것으로 연구의 범위를 한정하였다.

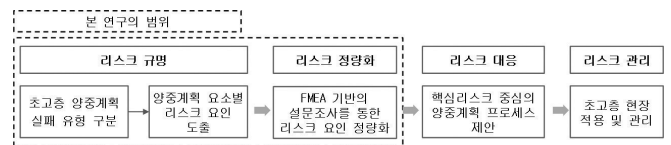


그림 2. 리스크 관리 체계 및 연구의 범위

2.2 선행 연구 검토

문헌 분석결과, 초고층 프로젝트의 양중계획과 관련된 기존 연구에서는 양중계획을 결정하는 영향 요소를 도출하고 기존 준공현장의 사례 데이터를 바탕으로 양중계획의 정확도를 높이기 위한 양중부하 예측 방법의 연구 및 양중시스템 개선이 주된 연구 내용이였다.

그러나 T/C 또는 L/C와 관련된 단편적인 계획 요소들의 개선과 관련된 부분에서만 연구가 주로 진행되어 각 영향 요소 검토에 오류가 발생하였을 경우 나타나는 실패 유형을 도출하고, 해당 리스크 요인의 발생빈도와 양중 작업에 미치는 영향도 및 전체 프로젝트에 미치는 영향에 대한 평가는 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 초고층 프로젝트의 양중계획의 실패 유형을 분류한 후 각 실패 유형이 전체 프로젝트의 공정, 원가, 안전 관리에 미치는 영향도를 분석하였다. 이를 기반으로 FMEA 기법을 적용, 세부 계획 요소별 리스크 요인의 발생빈도와 영향도, 치명도의 종합적인 분석을 통해 핵심 리스크 요인을 도출하여 양중계획의 체계적 리스크 관리를 위한 기초 자료를 제시한다는 것에 그 의미가 있다.

표 1. 초고층 프로젝트 양중계획 관련 기존 문헌 고찰

분류	저자	연구 내용
양중계획 영향요소 도출	이광연 (2009)	준공현장 양중데이터 사례분석 및 T/C 계획의 영향요인 도출
	박은경 (2009)	리프트카 선정 영향요인의 인과관계 모형 제시
양중부하 예측	박태룡 (2011)	커튼월 공사 양중부하를 최적화하기 위한 리프트카 계획 프로세스 제안
	C.M Tam (2002)	선형 모델을 대상으로 타워크레인 양중시간 예측 유효성 검토
양중계획 시스템	김정진 (2002)	T/C 선정 시, 고려되는 기본 데이터 입력을 통한 의사결정 프로그램 개발
	조지훈 (2009)	T/C 양중 사이클 정확도 향상을 위한, 실적데이터를 기반의 T/C 선정 프로그램 개발
	신윤석 (2011)	이산사건 시뮬레이션을 이용한, 초고층 건축공사 T/C 양중계획 모델 제안
양중장비 특성	Robert L (2005)	Construction Planning, Equipment, and Methods

2.3 FMEA 기법의 개념 및 평가척도

FMEA(Failure Modes and Effects Analysis) 기법은 일련의 프로세스와 제품 생산에서 발생 가능한 실패 또는 고장 형태를 사전에 도출하여, 예방하는 '신뢰성 설계 도구'이다.

실패를 사전에 예방하기 위해서는 비중이 가장 큰 위험한 부분부터 개선해 나가는 것이 가장 효과적이기 때문에 실패를 유발하는 위험 요소들의 비중을 평가하는 작업이 반드시 수반되어야 한다. FMEA 기법에서는 이러한 위험 요소들의 비중 평가를 위해 'RPN(위험성 우선순위)'를 사용하고 있으며 각각의 실패 유형들의 치명도, 발생빈도, 검출도 세 가지를 곱하여 리스크 요인들의 우선순위를 산정한다. (Robin E McDermott et al, 2009) (표 2 참조)

본 연구에서는 양중장비의 세부 계획 요소별 핵심 리스크 요인을 분석하기 위해 FMEA 기법을 적용하였다.

표 2. FMEA 평가척도

평가척도	내용
발생빈도(Occurrence)	잠재된 위험요인이 발생되는 빈도
검출도(Detection)	발생된 결함의 사전의 검출되는 정도
치명도(Severity)	실패가 발생했을 경우 결과의 치명도
RPN(Risk Priority Number)	발생빈도 × 치명도 × 검출도

3. 초고층 양중계획 실패 유형 분석 및 세부 리스크 요인 도출

초고층 프로젝트 양중계획의 핵심 리스크 요인 도출에 앞서 본 연구의 첫 번째 단계로 전문가 인터뷰를 통한 현행 양중계획 체계의 문제점을 분석하였다. 두 번째로 초고층 프로젝트에서 나타나는 양중계획 실패 유형을 장비별로 구분하여 분석하였으며, 각 실패 유형으로 인해 현장에서 발생 가능한 문제들을 도출하였다. 세 번째 단계로, 실패 유형별 세부 양중계획 요소들의 리스크 요인을 도출하였다.

3.1 현행 양중계획 체계의 문제점 분석

현행 양중계획 프로세스의 문제점 분석을 위해 현존 최고층 건축물인 버즈칼리파 시공 현장에서 양중 및 공정관리를 담당 한 전문가를 포함하여 국내 대형 건설사 4개사의 시공계획 및 양중계획 전문가 4인을 대상으로 인터뷰를 실시하였다. 이를 통해, 다음 표 2와 같이 '건설업의 구조적 특성', '계획 주체의 특성', '양중장비 자체의 특성'의 세 가지 관점에서 현행 양중계획 체계의 문제점을 도출하였다.

- (1) 양중장비 실행 금액의 제약 : 입찰단계에서 전체 프로젝트 건적 금액 산정을 위해 작성 된 기본 양중계획을 기반으로 해당 프로젝트의 양중장비 실행 예산이 확정된다. 수주에 성공하여 프로젝트 착공 단계에서 기본 양중계획의 오류가 발견되어 변경이 필요한 경우가 발생하더라도, 이미 편성된 예산의 제약으로 양중계획 수정에 어려움이 따른다.
- (2) 초기 계획 주체의 문제점 : 양중계획은 기본 계획단계부터 공정, 공법, 구조, 기타 설계조건 등 각 분야 담당자의 다각적인 검토를 바탕으로 계획되어야 한다. 그러나 국내 대부분의 건설사에서는 초기 양중계획을 양중장비업체의 단편적 기술지원과 견적파트 건축직 담당자의 개인적 경험과 주관적 견해를 바탕으로 계획하는 것이 일반적이기 때문에 양중계획 오류로 발생 가능한 모든 리스크 요인의 검토가 이루어지지 않고 있다.
- (3) Long - lead Item : 초고층 프로젝트에 사용되는 양중장비는 해당 프로젝트를 위해 특수 제작 및 기존 모델을 개량하여 적용하는 것이 일반적이기 때문에 일반 프로젝트에 적용되는 양중장비에 비해 조달 시간이 상당히 길어지는 Long - lead Item의 특성을 가진다. 따라서 초고층 프로젝트의 착수와 동시에 장비 발주가 이루어지기 때문에 양중계획이 수정 되어 양중장비의 모델 및 사양이 변경될 경우 전체 프로젝트의 일정에 큰 영향을 주게 된다.

표 3. 현행 양중계획 체계의 문제점 분석

구분	문제점	내용
건설업의 구조적 특성	양중장비 실행 금액의 제약	<ul style="list-style-type: none"> 입찰단계에서 공사 금액 견적을 위해 작성된, 기본 양중계획을 기반으로 프로젝트 양중장비 예산 확정 수주 및 프로젝트 착공 후, 양중계획 변경이 필요한 경우, 이미 결정된 예산의 제약 발생
계획 주체의 특성	초기 계획 주체의 문제점	<ul style="list-style-type: none"> 견적파트 건축직 담당자의 개인적 경험과 주관적 견해 및 양중장비 업체의 단편적 기술지원을 통한 양중계획 작성 공정/공법/구조/기타 설계조건 등의 다각적 리스크 검토가 이루어지지 않음
양중장비 자체의 특성	Long-lead item	<ul style="list-style-type: none"> 초고층 프로젝트의 양중장비는 해당 프로젝트를 위해 특수 개량 및 제작되어 적용 일반 프로젝트에 비해, 이른 시기에 장비가 발주되어 양중 계획 수정의 어려움 발생

3.2 양중계획 실패 유형 도출 및 영향도 분석

기존 시공사례 조사와 전문가 인터뷰를 통해 초고층 프로젝트 양중계획 시, 리스크 요인 검토가 체계적으로 이루어지지 않았을 경우 발생 가능한 양중계획 실패 유형을 T/C, L/C, Concrete 타설 장비의 개별 계획 요소에 따라 분류하여 도출하였고, 각각의 양중계획 실패로 인해 현장에서 발생 가능한 결과들을 분석하였다. (표 4 참조)

대표적인 실패 유형으로 T/C 설치 계획의 용량을 과소 산정하였을 경우, 현장에서는 다음과 같은 문제들이 발생한다. 양중부하의 과부하로 인하여 현장 물류계획에 차질이 발생하고, 이는 전체 프로젝트의 공기 지연으로 이어지며 (공정관리 영향), 장비의 용량을 초과하는 부재를 설치하기 위한 별도의 장비가 필요해진다. 이때 문제되는 부위가 고층일수록 추가 비용은 기하급수적으로 상승한다(원가관리 영향). 또한, 용량을 초과하는 부재 및 자재의 무리한 양중 시도가 이루어질 경우에는 상당한 위험을 초래한다(안전관리 영향). 이와 같이 양중 계획의 실패는 전체 프로젝트의 공정, 원가, 안전관리에 영향을 미치게 된다.

또한 L/C 설치 계획에서 수직/수평 Zoning 계획 반영 미흡에 따라 설치 위치의 오류가 발생한 경우, 양중자재의 목적 위치까지의 이동시간이 지연되고 커튼월 리브 아웃 구간을 고려하지 않은 위치 선정으로 인하여 커튼월 마감이 지연되어 추가 설치비용이 발생하게 된다. 이와 같이 개별 양중 계획의 실패는 전체 프로젝트의 공정, 원가, 안전관리에 영향을 미치게 된다.

표 4. 양중계획 실패에 따라 현장에서 발생 가능한 결과

구분	실패 유형	양중계획 실패에 따른 결과	관련 요소	
T/C 설치 계획	수량 산정	과다	설치/해체 및 Climbing 시간 추가 소모 C/W leave-out 구간 추가 발생 장비 임대료 및 구조 보강 비용 상승 장비 추가에 따른 안전관리 요소 증가	공정 원가 안전
		부족	T/C당 양중 부하 상승으로 인한 양중 지연	공정
			양중 대기 시간 상승으로 후속 공정 지연	공정
	용량 산정	과다	장비 임대료 절감 비용 보다 공기 지연에 따른 기타 투입 원가 상승	원가
			양중 시간 단축을 위한 무리한 양중 시도에 따른 사고 위험 증가	안전
		부족	별도의 대안 도출 시간 및 추가 장비 설치 시간 소요 추가 장비 및 대안 공법에 의한 타 공정간섭	공정
	타입 선정 오류	과다	문제되는 부위가 고층일수록 추가 비용 기하급수적 상승	원가
			용량을 초과하는 부재 및 자재 양중 시도에 따른 위험 발생	안전
			상승 방식 검토 오류에 따른 공정 지연 발생 입면 변화 부위 및 첨탑 디자인에 따른 회전 불가 지역 발생 T/C 상호 간섭 발생	공정/원가 안전
	위치 선정 오류	과다	T/C 설치 부위의 구조 설계 하중 검토 오류에 따른 추가 보강 작업 발생	공정/원가
			양중 음영 지역 발생	공정/원가
			T/C 상호간섭 발생	안전
T/C 해체 계획	해체 순서	순서 설정 오류	先 해체 T/C 선정 오류에 따른 첨탑 시공 차질 발생	공정
		해체 전용 Crane용 Support Frame 위치와 C/W 마감 공사 간섭 발생	공정	
	해체 시점	조기 해체	조기 해체로 인한 본 공사용 E/V 및 T/C의 내부 마감 자재 양중 부하 증가	공정
		해체 지연	해체 지연에 따른 C/W 공사 마감 지연	
해체 전용 장비 선정 오류	과다	해체 전용 Crane의 높이별 양중 능력 검토 오류에 따른 Main T/C 해체 불가 상황 발생	공정/원가	
		해체 전용 Crane의 설치 여유 공간 미확보	안전	
L/C 설치 계획	수량 산정	과다	L/C 과다 설치로 인한 내 외부 마감 공사 불가 부위 증가	공정
		부족	설치 수량 부족으로 인한 인력 배치 Target time 증가	
	용량 산정	과다	필요 이상의 고성능 장비 임대료	원가
		부족	T/C 양중 부하 상승 및 전체 공정 지연 인력 양중 소요 시간 상승	공정
	위치 선정 오류	과다	수직, 수평 Zoning 계획 반영 미흡에 따른 목적 위치까지의 자재 이동시간 지연	공정
			leave-out 구간을 고려하지 않은 위치 선정으로 C/W 마감 문제 발생	
L/C 해체 계획	해체 시점	시점 설정 오류	본 공사용 E/V 운영시점 검토 오류에 따른 L/C 해체 시점 미확정	공정
		L/C 해체 지연으로 인한 C/W leave-out 구간 마감 지연	공정	
	해체 순서	순서 계획 오류	가장 마지막에 해체하는 L/C 선정 오류로 인한 내부 마감 지연	공정

표 4. 양중계획 실패에 따라 현장에서 발생 가능한 결과 <계속>

구분	실패 유형		양중계획 실패에 따른 결과	관련 요소
T/C 해체 계획	해체 순서	순서 설정 오류	先 해체 T/C 선정 오류에 따른 점탑 시공 차질 발생	공정
			해체 전용 Crane용 Support Frame 위치와 C/W 마감 공사 간섭 발생	
	해체 시점	해체 지연	조기 해체로 인한 본 공사용 E/V 및 T/C의 내부 마감 자재 양중 부하 증가	공정
			해체 지연에 따른 C/W 공사 마감 지연	
해체 전용 장비 선정 오류		해체 전용 Crane의 높이별 양중 능력 검토 오류에 따른 Main T/C 해체 불가 상황 발생	공정 원가	
		해체 전용 Crane의 설치 여유 공간 미확보	안전	
L/C 설치 계획	수량 산정	과다	L/C 과다 설치로 인한 내 외부 마감 공사 불가 부위 증가	공정
		부족	설치 수량 부족으로 인한 인력 배치 Target time 증가	
	용량 산정	과다	필요 이상의 고성능 장비 임대료	원가
		부족	T/C 양중 부하 상승 및 전체 공정 지연	공정
위치 선정	위치 선정 오류	수직, 수평 Zoning 계획 변경 미흡에 따른 목적 위치까지의 자재 이동시간 지연	공정	
		leave-out 구간을 고려하지 않은 위치 선정으로 C/W 마감 문제 발생		
L/C 해체 계획	해체 시점	시점 설정 오류	본 공사용 E/V 운영시점 검토 오류에 따른 L/C 해체 시점 미확정	공정
		L/C 해체 지연으로 인한 C/W leave-out 구간 마감 지연		
해체 순서	순서 계획 오류	가장 마지막에 해체하는 L/C 선정 오류로 인한 내부 마감 지연	공정	
		수량 산정	과다	수량 과다 설치로 인한 현장 장비 운영 비용 상승
			장비 점유 공간 증가로 인한 현장 물류 운영 간섭 발생	공정
			부족	1일 Concrete 타설 물량 소화 불가에 따른 골조 공사 지연 발생
Concrete Pump 설치 계획	수량 산정	과다	필요 이상의 고성능 장비 임대료	원가
		배관의 허용치를 초과하는 압력 발생으로 배관 파열 위험 발생		
	용량 산정	부족	배관의 마찰계수 산정 오류로 인한 목적 위치까지의 압송 실패	공정 원가
			압송 능력 부족으로 인한, 타설 시간 증가로 기준층 시공 Cycle 준수 실패	
		높이에 따른 실제 토출량 분석 오류로 인한 타설 시간 증가	공정	
		자재 운송 차량과 레미콘 차량 간섭 발생		공정
	위치 선정 오류	위치 선정 오류로 인한 배관 길이 증가	원가	
		수량 산정	과다	장비 과다 설치로 인한 장비 운영 비용 및 배관 길이 증가
			1일 Concrete 타설 물량 소화 불가에 따른 골조 공사 지연 발생	공정/ 원가
			위치 설정	위치 설정 오류
			장비 고장 시, 인접 장비 타설 범위 도달 불가로 인한 공기 지연	공정
			해체 시점	

3.3 세부 양중계획 단계별 리스크 요인 도출

초고층 양중계획의 핵심 리스크 요인 도출을 위한 세 번째 단계로 초고층 요소기술 및 시공 기술들을 다룬 기존 문헌들의 분석을 통해 양중계획 작성 시 반드시 검토되어야 하는 세부

계획요소들을 도출하였고, 김정진(2005), 조지훈(2009), 김문수(2010)가 분류한 양중계획 영향요인을 바탕으로 양중계획 실패 유형별 세부 리스크 요인을 구분하였으며 전문가 검토를 거쳐 최종확정 하였다. (그림 3. 참조)

세부 리스크 요인은 양중계획 실패 유형에 따라 T/C의 설치/해체 계획단계 리스크 요인(32항목), L/C의 설치/해체 계획단계 리스크 요인(23항목), Concrete 타설 장비의 Concrete Pump와 CPB 계획 단계의 리스크 요인(19항목)으로 구분하여 총 74가지의 리스크 요인을 도출하였다. (표 5 참조)

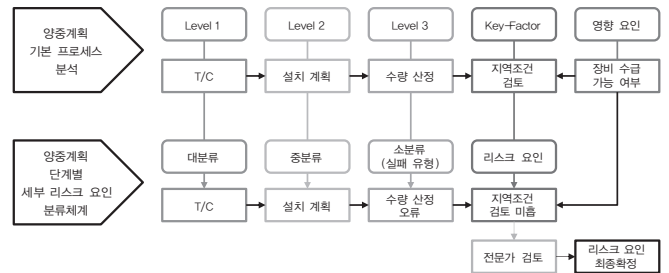


그림 3. 양중계획 단계별 리스크 요인 분류 체계

표 5. 양중계획 단계별 세부 리스크 요인

양중계획 단계별 세부 리스크 요인	
A. T/C 계획	
A1. T/C 설치 계획	
A11. T/C 수량 산정	
A111.	지역적 조건 검토 미흡
A112.	양중시간 분석 오류
A113.	기준층 골조공사 양중부하 산정 오류
A114.	C/W공사 양중부하 산정 오류
A115.	내부 마감공사 양중부하 산정 오류
A116.	Climbing & Telescoping 검토 오류
A12. T/C 용량 산정	
A121.	자중 및 작업 하중 검토 오류
A122.	Tower 부위 최대 중량물 검토 오류
A123.	Podium 부위 최대 중량물 검토 오류
A124.	자재 양중장 위치 검토 미흡
A125.	점탑 높이 및 부재 검토 미흡
A126.	시공 Cycle에 따른 양중시간 분석 오류
A127.	기준층 골조공사 양중부하 산정 오류
A128.	C/W 공사 양중부하 산정 오류
A129.	내부 마감공사 양중부하 산정 오류
A13. T/C 타입 선정	
A131.	Boom Type 선정 오류
A132.	상승 방식 검토 오류
A133.	T/C 상호 간섭 여부 검토 미흡
A134.	대지 경계선 검토 미흡
A14. T/C 위치 선정	
A141.	T/C 운영 기간 검토 미흡
A142.	Corewall T/C 설치 가능 위치 검토 오류
A143.	외주부 T/C 설치 가능 위치 분석 오류
A144.	자중 및 작업 하중 검토 오류
A145.	작업범위 Zoning 오류
A146.	자재 양중장 위치 설정 오류

표 5. 양중계획 단계별 세부 리스크 요인 (계속)

A. T/C 계획	
A2. T/C 해체 계획	
A21. 해체 순서	A211. 先 해체 T/C 선정 오류 A212. T/C 해체 후, C/W leave-out 구간 마감 계획 검토 오류
A22. 해체 시점 설정	A221. 주요 공정 종료 시점 검토 오류 A222. 본 공사용 E/V 사용 시점 검토 미흡
A23. 해체 전용 Crane 선정	A231. 해체 전용 Crane 높이별 양중능력 검토 미흡 A232. 해체 전용 Crane 설치 위치 검토 오류 A233. 해체 전용 Crane 해체 계획 오류
B. L/C 계획	
B1. L/C 설치 계획	
B11. L/C 수량 산정	B111. Peak Time 인원 분석 미흡 B112. L/C 이용 양중 자재 물량 검토 오류 B113. 인력 및 자재 양중 Target Time 설정 오류 B114. 시간대별 운행 계획 설정 오류 B115. 설치 가능 위치 검토 오류 B116. 양중 자재의 수직/수평 이동 동선 검토 미흡 B117. Cage Type 설정 오류
B12. L/C 위치 선정	B121. 입면 변화 등의 설계 조건 검토 미흡 B122. 현장 내부 지상 물류 계획 분석 오류 B123. 수직 Zoning 계획 오류
B13. L/C 용량 설정	B131. Peak Time 인원 분석 미흡 B132. L/C 이용 양중 자재 물량 검토 오류 B133. 양중 자재 크기 및 포장 단위 분석 미흡 B134. 인력 및 자재 양중 Target Time 설정 오류 B135. 시간대별 운행 계획 설정 오류
B14. L/C 타입 설정	B141. Cage Type 설정 오류 B142. L/C 자동 검토 미흡 B143. L/C 고정 방식 검토 오류 B144. 소요 동력 결정 오류
B1. L/C 해체 계획	
B21. L/C 해체 순서 설정	B211. 공사 단계별 해체 순서 설정 오류 B212. C/W leave-out 구간 마감 방법 검토 오류
B22. L/C 해체 시점 설정	B221. 마스터 공정표의 L/C 필요기간 검토 오류 B222. 본 공사용 E/V 사용 시점 검토 미흡
C. Concrete 타설 장비 계획	
C1. Concrete Pump 계획	
C11. Concrete Pump 수량 산정	C111. 골조공사 Zone별 RC부재 및 물량 검토 미흡 C112. 최상부 RC부재 물량/타설 방법 분석 오류 C113. 기준층 골조공사 Cycle 분석 오류
C12. Concrete Pump 위치 설정	C121. 수직 Zoning 계획에 의한 Zone별 Pump위치 설정 오류 C122. Podium 부위 공사 단계별 레미콘 차량 동선 검토 오류 C123. 공사 단계별 기타 차량 및 인원 동선계획 분석 오류 C124. 레미콘 차량 운행에 따른, 주변 환경(도로/민원) 영향검토 미흡
C13. Concrete Pump 용량 설정	C131. 기준층 RC부재 층별 타설 물량 및 타설 방식 검토 오류 C132. 기준층 Cycle 달성을 위한 Concrete 타설 시간 분석 오류 C133. 최상부 RC부재 물량 및 타설 방법 분석 미흡 C134. 압송 방식 검토 오류
C14. Concrete Pump 운영 계획	C141. 골조공사 종료 시점 분석 오류 C142. 기타 무근 Concrete 타설 부위 시공 시점 검토 미흡
C2. CPB 계획	
C21. CPB 수량 및 용량 산정	C211. CPB 설치 가능 공간 분석 오류 C212. 기준층 Cycle 달성을 위한 Concrete 타설 시간 분석 오류
C22. CPB 설치 위치 설정	C222. 장비 고장 상황 시, 대처 방안 검토 미흡 C223. 기준층 Zoning 계획에 의한 적정 위치 검토 오류
C23. CPB 운영 계획	C231. Climbing 방법(T/C 또는 ACS 이용) 검토 오류 C232. RC부재 및 기타 무근 Concrete 타설 종료 시점 분석 미흡

4. 실패 유형별 영향도 분석 및 핵심 리스크 요인 분석

4.1 평가 방법 및 평가 척도

본 연구에서는 양중계획 실패 유형별 영향도 분석과 세부 계획요소별 핵심 리스크 요인 분석을 구분하여 실시하였다.

각각의 양중계획 실패유형이 전체 프로젝트의 공정, 원가, 안전관리에 미치는 영향도 분석을 위해 다음 표 6과 같은 평가 척도를 적용하였으며 세부 계획요소별 핵심 리스크 요인 도출을 위해서는 FMEA 기법을 적용하고 평가 척도를 발생빈도(해당 리스크 요인의 발생 가능성), 영향도(리스크 요인으로 인한, 해당 장비 양중작업의 영향 정도), 치명도(해당 리스크 요인 발생 시, 전체 프로젝트에 입히는 피해의 정도)로 설정하여 사용하였다. (표 6~7 참조) 이 척도는 원론적인 FMEA 평가 척도를 건축분야에 맞도록 수정하여 적용된 것으로 기존 논문에 근거하여 사용하였다. (홍영탁 2004)

표 6. 양중계획 실패 유형별 영향도 평가 척도

점수	점수 기준
9 ~ 10	실패 유형 발생 시, 전체 프로젝트의 공기, 원가, 안전에 미치는 영향이 매우 크다.
7 ~ 8	실패 유형 발생 시, 전체 프로젝트의 공기, 원가, 안전에 미치는 영향이 크다.
5 ~ 6	실패 유형 발생 시, 전체 프로젝트의 공기, 원가, 안전에 미치는 영향이 크지 않다.
3 ~ 4	실패 유형 발생 시, 전체 프로젝트의 공기, 원가, 안전에 미치는 영향이 작다.
1 ~ 2	실패 유형 발생 시, 전체 프로젝트의 공기, 원가, 안전에 미치는 영향이 매우 작다.

표 7. 세부 계획 요소별 리스크 요인 평가 척도

평가 척도	점수	점수 기준
발생빈도	9 ~ 10	발생 가능성이 아주 높다.
	7 ~ 8	발생 가능성이 높다.
	5 ~ 6	발생 가능성이 그다지 높지 않다.
	3 ~ 4	발생 가능성이 낮다.
	1 ~ 2	발생 가능성이 아주 낮다.
영향도	9 ~ 10	해당 장비의 양중작업에 미치는 영향이 매우 크다.
	7 ~ 8	해당 장비의 양중작업에 미치는 영향이 크다.
	5 ~ 6	해당 장비의 양중작업에 미치는 영향이 크지 않다.
	3 ~ 4	해당 장비의 양중작업에 미치는 영향이 작다.
	1 ~ 2	해당 장비의 양중작업에 미치는 영향이 매우 작다.
치명도	9 ~ 10	전체 프로젝트에 입히는 피해가 매우 치명적이다.
	7 ~ 8	전체 프로젝트에 입히는 피해가 크다.
	5 ~ 6	전체 프로젝트에 입히는 피해가 크지 않다.
	3 ~ 4	전체 프로젝트에 입히는 피해가 작다.
	1 ~ 2	전체 프로젝트에 입히는 피해가 거의 없다.

4.2 설문조사 개요

본 연구에서는 초고층 프로젝트 양중계획의 실패 유형별 영향도 분석과 핵심 리스크 요인 도출을 위해, 2011년 기준 시공능력평가 순위 상위 4개사를 포함한, 대형 건설사 9개사의 공정관리 / 양중계획 / 시공관리 전문가 등 80명을 대상으로

2012년 10월 15일부터 11월 15일까지 1개월에 걸쳐 2가지 설문문을 실시하였다. 설문조사는 직접 방문과 E-mail을 통해 수행하였으며, 80부의 설문지를 배포하여, 48부를 회수하였다. 설문응답자는 10년 미만 경력자 33.3%, 10년 이상 ~ 15년 미만 경력자 29.2%, 15년 이상 20년 미만 경력자 25.0%, 20년 이상 경력자 12.5%의 분포를 보였다.

표 8. 설문조사 개요

점수	점수 기준
조사 기간	2012년 10월 15일 ~ 11월 15일
조사 대상	국내 건설사 9개사 양중계획 / 공정관리 / 현장 시공 담당자
조사 방법	직접 방문 인터뷰 및 E-mail 설문 조사
분석 방법	FMEA(Failure Modes and Effects Analysis)
분석 내용	초고층 양중계획의 핵심 리스크 요인 분석

4.3 신뢰도 분석

신뢰도 분석은 측정된 결과치의 일관성, 정확성, 의존가능성, 안정성, 예측가능성과 관련된 개념으로 동일한 개념에 대해 측정을 되풀이했을 때 동일한 측정값을 얻을 가능성을 분석하는 것이다.

본 연구에서는 설문 결과의 신뢰도 분석을 위해 PASW Statistics 18 프로그램을 이용하였으며, 크론바흐(Cronbach) α계수를 사용하여 신뢰도 분석을 시행하였다. 크론바흐 α계수는 1에 가까울수록 좋은 신뢰도를 가지며 0.8 이상이면 신뢰도가 매우 높은 것으로 본다. (이현철 2009)

본 연구에서 진행한 설문 응답의 신뢰도 분석 결과 ‘양중계획 실패 유형별 영향도 평가’ 응답의 최저 신뢰도 수치는 0.837로 분석되었으며, ‘세부 계획 요소별 핵심 리스크 요인 평가’ 응답의 최저 신뢰도 항목 수치가 0.806으로 분석되어 설문 결과를 활용하여 양중계획 핵심 리스크 요인을 분석하는데 무리가 없음을 확인하였다. (표 9~10 참조)

표 9. 실패 유형별 영향도 설문 응답의 신뢰도 분석 결과

구분	평가척도	Cronbach α 계수	케이스 유효		항목수
			N	%	
T/C 계획	공정	0.837	48	100	21
	원가				
	안전				
L/C 계획	공정	0.866	48	100	15
	원가				
	안전				
Concrete 타설 장비 계획	공정	0.919	48	100	18
	원가				
	안전				

표 10. 세부 계획 요소별 리스크 요인 신뢰도 분석 결과

계획 단계	Level 1	Level 2	평가척도	Cronbach α 계수	케이스 유효		항목수
					N	%	
T/C 계획	설치 계획	발생빈도	0.936	48	100	25	
			영향도				0.915
			치명도				0.922
	해체 계획	발생빈도	0.887	48	100	7	
			영향도				0.879
			치명도				0.881
L/C 계획	설치 계획	발생빈도	0.952	48	100	19	
			영향도				0.929
			치명도				0.932
	해체 계획	발생빈도	0.888	48	100	4	
			영향도				0.806
			치명도				0.822
Concrete 타설 장비 계획	Concrete Pump	발생빈도	0.917	48	100	13	
			영향도				0.914
			치명도				0.922
	CPB 계획	발생빈도	0.908	48	100	6	
			영향도				0.875
			치명도				0.887

4.4 실패 유형별 프로젝트 영향도 분석

초고층 프로젝트에서의 각 유형의 양중계획 실패가 전체 프로젝트의 공정, 원가, 안전 관리에 미치는 영향도를 분석한 결과는 다음 표 11과 같다.

T/C 설치 계획의 수량 산정 오류는 공정관리, 위치 선정 오류와 해체 장비 선정 오류는 원가관리, 해체 순서 계획 오류는 안전관리에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 세 가지 관리요소 모두 T/C 계획과 관련 된 실패 유형이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었지만, L/C와 Concrete 타설 장비 계획 실패 유형 다수가 공정 및 원가관리 영향도에서 7.00 이 넘는 것으로 도출되어 전체 프로젝트에 미치는 영향이 결코 작지 않음을 알 수 있다.

표 11. 실패 유형별 프로젝트 영향도 분석 결과

구분	실패 유형	영향도		
		공정	원가	안전
T/C 설치 계획	수량 산정 오류	8.75	7.29	5.29
	용량 산정 오류	8.04	7.13	6.42
	타입 결정 오류	7.25	6.50	6.25
	위치 선정 오류	8.25	7.75	6.63
T/C 해체 계획	해체 순서 계획 오류	7.67	6.67	7.58
	해체 시점 설정 오류	7.67	7.42	5.29
	해체 장비 선정 오류	7.67	7.75	7.54
L/C 설치 계획	용량 산정 오류	8.25	7.25	5.17
	수량 산정 오류	8.38	7.71	5.17
	위치 선정 오류	7.83	6.42	5.54
L/C 해체 계획	해체 시점 오류	7.83	6.79	5.46
	해체 순서 계획 오류	7.00	6.54	6.08
Concrete Pump 계획	용량 산정 오류	8.25	7.17	5.50
	수량 산정 오류	8.08	7.42	5.04
	위치 선정 오류	7.50	6.79	5.63
CPB 계획	위치 선정 오류	8.00	7.17	5.54
	수량 산정 오류	7.08	6.92	5.00
	운영 기간 오류	8.04	7.38	5.17

4.5 세부 계획 요소별 핵심 리스크 요인 분석

FMEA 기법을 이용하여 세부 계획 요소별 핵심 리스크 요인을 분석하였다. 각 리스크 요인의 발생빈도, 영향도, 치명도는 전체 설문 응답자의 평균값이며 세 가지를 곱하여 RPN을 산출한 후, 순위를 산정하였다.

설문 응답자의 답변 내용을 분석한 결과, L/C 설치 계획 수량 산정단계의 'B116 : 양중자재의 수직/수평 이동 동선 검토 미흡'이 가장 중요한 리스크 요인으로 나타났으며, 'A111 : 현장조건 검토 미흡, A113 : 기준층 골조공사 양중부하 산정 오류'의 순으로 분석되었다. T/C 계획 단계의 리스크 요인 대부분이 영향도와 치명도가 큰 것으로 평가되어 RPN 순위가 높게 측정 되었음에도 불구하고 L/C 설치 계획의 B116이 가장 중요한 리스크 요인으로 평가 된 이유는 양중계획 작성자가 T/C 계획에 비해 상대적으로 중요하지 않다고 판단하여 해당 항목 검토를 미흡하게 하기 때문에 실제 현장에서 가장 빈번하게 발생하는 문제의 원인으로 분석되었다.

4.5.1 T/C 계획 단계 리스크 요인 위험우선순위 분석

T/C의 설치 및 해체 단계에서 검토되어야 할 32가지 리스크 요인에 대한 RPN 분석 결과, T/C 설치 계획 단계에서는 'A111 : 현장조건 검토 미흡, A113 : 기준층 골조공사 양중부하 산정 오류, A121 : 자중 및 작업 하중 검토 오류, A126 : 기준층 시공 Cycle에 따른 양중시간 분석 오류'의 순으로 RPN 값이 높게 나타났다. 초고층 프로젝트의 대부분이 해외에서 발주되기 때문에, 해당 국가 및 현장이 위치한 지역의 현장 조건들의 검토가 미흡할 경우 영향도와 치명도가 큰 것으로 측정되었다. (표 12, 그림 4 참조)

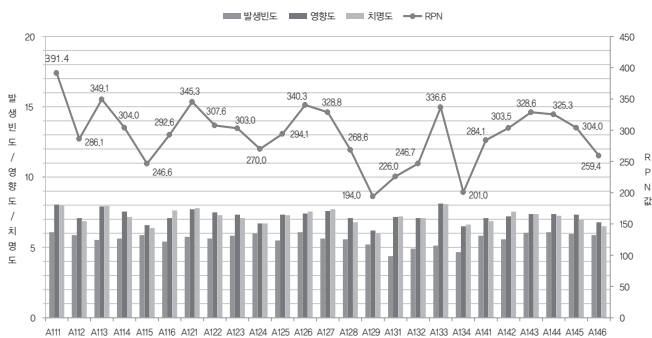


그림 4. T/C 설치 계획 단계 설문 응답 결과

표 12. T/C 세부 계획 요소별 리스크 요인 설문 응답 결과

세부 리스크 요인			위험도 평가 결과				전체 순위	
Level 1	Level 2	Level 3	코드	발생빈도	영향도	치명도		RPN
T/C 계획	설치 계획	수량 산정	A111	6.1	8.0	8.0	391.4	2
			A112	5.9	7.1	6.9	286.1	30
			A113	5.5	7.9	8.0	349.1	3
			A114	5.6	7.5	7.2	304.0	18
			A115	5.9	6.6	6.4	246.6	56
			A116	5.4	7.1	7.6	292.6	27
		용량 산정	A121	5.8	7.7	7.8	345.3	5
			A122	5.6	7.5	7.3	307.6	16
			A123	5.8	7.3	7.1	303.0	21
			A124	6.0	6.7	6.7	270.0	37
			A125	5.5	7.3	7.3	294.1	26
			A126	6.1	7.4	7.5	340.3	6
	타입 결정	A127	5.6	7.6	7.7	328.8	9	
		A128	5.6	7.1	6.8	268.6	40	
		A129	5.2	6.2	6.0	194.0	68	
		A131	4.4	7.2	7.2	226.0	63	
		A132	4.9	7.1	7.1	246.7	55	
		A133	5.1	8.1	8.1	336.6	8	
	위치 선정	A134	4.7	6.5	6.6	201.0	66	
		A141	5.8	7.1	6.9	284.1	31	
		A142	5.6	7.2	7.5	303.5	20	
		A143	6.0	7.4	7.4	328.6	10	
		A144	6.1	7.4	7.3	325.3	11	
		A145	6.0	7.3	7.0	304.0	17	
T/C 계획	해체 계획	해체 순서	A146	5.9	6.8	6.5	259.4	49
			A211	5.2	7.6	7.5	297.9	23
		해체 시점	A212	5.8	7.2	7.3	304.0	19
			A221	5.9	7.3	7.2	311.0	14
		해체 전용 Crane 선정	A222	5.6	7.0	7.1	278.5	32
			A231	4.6	7.4	7.8	268.7	39
			A232	4.9	7.3	7.7	272.5	36
			A233	5.2	7.1	7.2	263.8	43

T/C 해체 계획 단계의 RPN 순위는 'A221 : 주요 공정 종료 시점 검토 오류, A212 : T/C 해체 후 C/W 리브 아웃 구간 마감 계획 검토 오류'의 순으로 나타났다. (그림 5 참조)

주요 공정들에 대한 지연 요소들에 대한 검토가 미흡하여 T/C 해체 시점을 과도하게 이르게 설정하였을 경우, 장비 운영기간 증가에 따라 원가관리에 영향을 미치게 된다. 또한 공사 중 양중

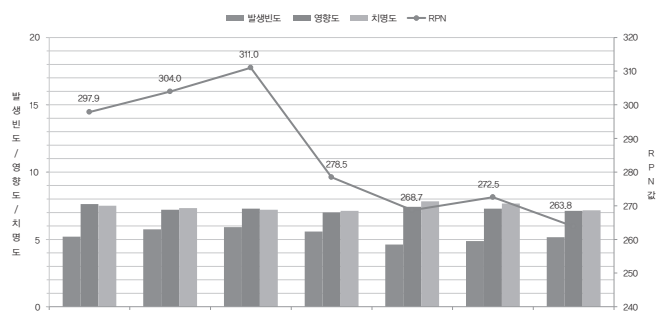


그림 5. T/C 해체 계획 단계 설문 응답 결과

장비 고정 및 필요에 의해 Leave-out 구간으로 남겨두었던 부위의 C/W 시공을 위해서는 가장 작은 C/W Unit을 내부 운반하여 인력으로 설치하는 등 일반 부위와는 다른 방법이 이용되기 때문에 T/C 해체 후의 C/W 리브 아웃 구간 시공 방법에 대한 검토가 T/C 계획 단계에서부터 정확하게 검토되어야 함을 알 수 있다.

4.5.2 L/C 계획 단계 리스크 요인 위험우선순위 분석

L/C의 설치 및 해체 계획 단계에서 검토되어야 할 23가지 리스크 요인들에 대한 RPN 분석 결과, L/C 설치 계획 수량 산정 단계의 'B116 : 양중자재의 수직/수평 이동 동선 검토 미흡'의 RPN 값이 가장 높게 나타났으며, 수량 산정과 용량산정 단계의 'B111 : Peak time 인원 분석 미흡'이 차순위 값을 나타내었다. (표 13, 그림 6~7 참조)

특히, 'B116 : 양중자재의 수직/수평 이동 동선 검토 미흡'은 전체 리스크 요인 통합 1순위 리스크 요인으로 분석되었다. 이러한 결과의 원인을 분석해본 결과, 초고층 프로젝트의 양중계획은 양중 자재의 수직 이동이 가장 중요한 요소이기는 하지만 일반 프로젝트와는 비교가 안 될 정도의 많은 인력과 자재의 수평 이동 동선 또한 매우 중요한 요소가 되기 때문이다. 이를 통해, 지상에서의 원활한 물류 흐름이 기본이 되어야만 인력과 자재의 원활한 수직 이동이 가능해질 수 있다는 것을 알 수 있다.

L/C 해체 계획 단계에서는, 'B222 : 본 공사용 엘리베이터(E/V)의 사용 시점 검토 미흡'으로 인한, 해체 시점 설정 오류가 가장 중요한 리스크 요인으로 분석되었다.

표 13. L/C 세부 계획 요소별 리스크 요인 설문 응답 결과

세부 리스크 요인				위험도 평가 결과				전체 순위	
Level 1	Level 2	Level 3	코드	발생빈도	영향도	치명도	RPN		
L/C 계획	설치 계획	수량 산정	B111	6.9	7.1	7.2	349.0	4	
			B112	6.3	7.2	7.2	324.8	12	
			B113	6.3	7.0	7.0	310.3	15	
			B114	6.6	7.1	6.8	316.6	13	
			B115	5.4	6.5	6.7	231.4	61	
			B116	7.0	7.6	7.7	409.2	1	
			B117	5.3	5.9	6.0	187.7	69	
		위치 선정	B121	5.2	6.9	7.4	265.7	41	
			B122	5.6	7.2	7.1	288.9	29	
			B123	5.4	7.4	7.5	295.7	24	
			용량 산정	B131	6.4	7.4	7.1	337.2	7
				B132	5.8	7.0	6.8	277.0	33
				B133	5.8	6.8	6.8	268.8	38
		B134		6.0	6.7	6.5	261.5	45	
		타입 결정	B135	5.3	7.0	6.8	253.6	52	
			B141	4.7	6.2	6.0	171.5	71	
			B142	4.0	5.8	5.8	135.6	74	
	B143		4.4	5.9	5.8	149.9	72		
	해체 계획	해체 순서	B144	4.1	6.1	5.9	148.4	73	
			B211	4.6	6.5	6.7	197.3	67	
			B212	5.4	6.8	7.2	263.6	44	
			B221	5.5	6.7	6.6	241.1	60	
			B222	5.8	7.0	7.2	294.4	25	

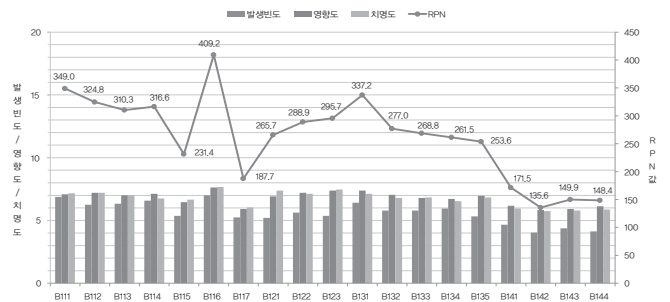


그림 6. L/C 설치 계획 단계 설문 응답 결과

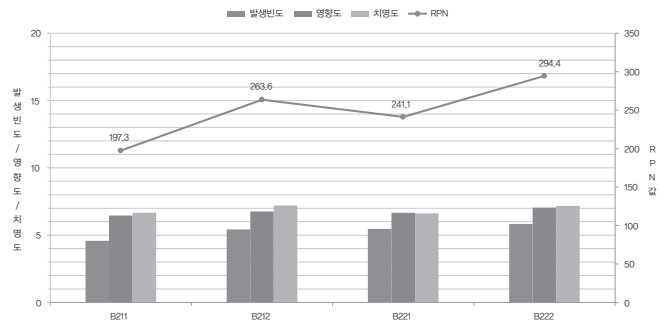


그림 7. L/C 해체 계획 단계 설문 응답 결과

4.5.3 Concrete 타설 장비 계획 단계 리스크 요인 위험우선 순위 분석

Concrete 타설 장비(Concrete Pump, CPB) 계획에서 검토되어야 할 리스크 요인 19가지 항목의 RPN 분석 결과는 다음 표 14, 그림 8~9와 같다.

표 14. Concrete 타설 장비 세부 계획 요소별 리스크 요인 설문 응답 결과

세부 리스크 요인				위험도 평가 결과				전체 순위	
Level 1	Level 2	Level 3	코드	발생빈도	영향도	치명도	RPN		
Concrete 타설 장비 계획	Concrete Pump	수량 산정	C111	5.3	7.0	6.8	248.5	54	
			C112	5.4	7.3	7.0	274.9	35	
			C113	5.0	6.0	5.9	174.8	70	
		위치 선정	C121	5.0	7.0	6.9	242.1	58	
			C122	5.5	7.1	6.7	261.3	46	
			C123	5.8	6.7	6.6	255.5	50	
			C124	6.3	6.8	6.9	291.8	28	
		용량 선정	C131	5.0	7.0	7.3	253.8	51	
			C132	5.8	7.2	7.2	298.8	22	
			C133	5.6	6.9	7.1	275.2	34	
		운영 계획	C134	5.1	7.0	7.4	264.0	42	
			C141	5.5	6.5	6.4	231.1	62	
		CPB 계획	수량 및 용량	C142	5.5	6.3	6.2	213.6	65
				C211	4.8	6.8	6.5	214.2	64
	설치 위치		C212	5.6	6.8	6.9	261.0	47	
			C221	5.4	6.9	7.0	260.7	48	
			C222	5.0	6.9	7.0	241.2	59	
	운영 계획	C231	4.9	7.1	7.0	243.1	57		
		C232	5.8	6.6	6.5	249.4	53		

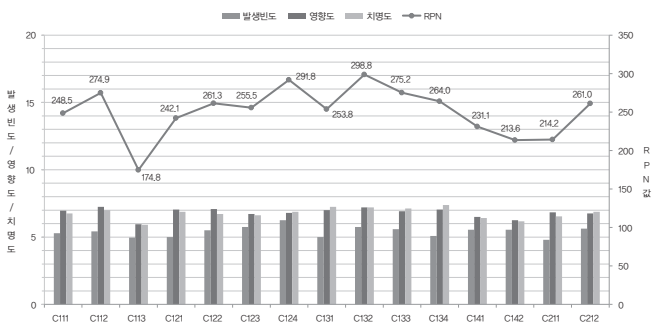


그림 8. Concrete Pump 계획 단계 설문 응답 결과

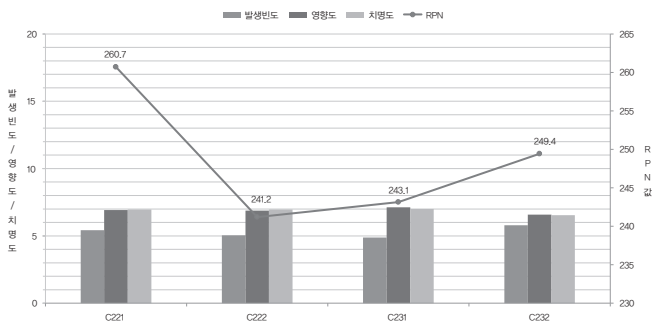


그림 9. CPB 계획 단계 설문 응답 결과

Concrete 타설 장비 계획의 리스크 요인들은 T/C과 L/C 계획의 리스크 요인들과 비교하였을 때, 비교적 낮은 RPN 값들을 나타냈지만 'C132 : 기준층 Cycle 달성을 위한 Concrete 타설 시간 분석 오류, C124 : 레미콘 차량 운행에 따른 주변 환경(도로 상황, 민원 등) 영향 검토, C112 : 최상부 RC 부재 물량 및 타설 방법 분석 오류'와 같은 리스크 요인들의 RPN 값은 전체 순위에서도 상위권에 속하는 수치를 나타냈다.

5. 결론

본 연구는 초고층 프로젝트의 근간이 되는 양중계획의 오류로 인해 발생하는 실패 유형과 각각의 계획 요소에 내재되어 있는 리스크 요인이 전체 프로젝트에 미치는 영향도를 파악하기 위한 목적으로 수행되었다. 이에 본 연구에서는 국내 대형 건설사 양중계획 및 시공관리 전문가들을 대상으로 심층 인터뷰를 실시하여, 현행 양중계획 체계의 문제점과 리스크 요인을 도출하였으며 FMEA 기법을 활용하여 도출된 리스크 요인들이 전체 프로젝트에 미치는 영향도를 분석하였다. 이를 통해, 초고층 프로젝트 양중계획 시에 최우선적으로 검토 및 관리해야 하는 핵심 리스크 요인을 도출하였다.

- (1) 현행 양중계획 체계의 문제점 분석 결과, 체계적인 리스크 검토 없이 작성된, 양중계획으로 인한 실행 금액의 제약과 해당 프로젝트를 위해 특수 제작 및 기존 모델을 개량한 양중 장비를 사용해야 하는 초고층 프로젝트의 특성으로 인하여 양중 장비가 Long lead item화 되기 때문에 계획 수정에 어려움이 발생하는 문제점을 도출하였다.
- (2) 초고층 프로젝트에서 발생 가능한 양중계획 실패 유형에 따라 현장에서 발생 가능한 결과들을 분류하였으며 각각의 실패 유형들이 전체 프로젝트에 미치는 영향을 분석한 결과, T/C 설치 계획 단계의 '수량 산정 오류'는 공정관리, '위치 선정 오류'는 원가관리, T/C 해체 계획 단계의 '해체 순서 계획 오류'는 안전관리에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.
- (3) 각 양중 장비들의 계획 실패 유형에 따른 세부 요소별 리스크 요인들의 영향도 분석결과, T/C 계획과 관련된 대부분의 요소들이 높은 수치의 RPN 값을 보였지만 L/C 설치 계획 단계의 'B116 : 양중자재의 수직/수평 이동 동선 검토 미흡'이 가장 중요한 리스크 요인으로 분석되었으며 Concrete 타설 장비의 리스크 요인들(C132, C124, C112) 또한 높은 수치의 RPN 값을 나타내었다.

위와 같은 본 연구의 분석 결과는 양중계획 작성자가 T/C 계획에 비해 상대적으로 중요하지 않다고 판단하여 미흡하게 검토한 항목들로 인해 발생하는 문제들이 현장에 미치는 피해의 정도가 작지 않다는 것을 말해준다.

즉 초고층 프로젝트에서 양중계획의 실패를 방지하기 위해서는 일반적으로 중요하다고 판단되는 T/C 계획의 양중 부하 및 Cycle time 산정과 같은 주요 검토 항목 이외에도 L/C 및 Concrete 타설 장비 계획을 포함하여 주어진 조건하에서 예상 가능한 모든 요인들을 다각적으로 검토해야 한다는 것을 말해준다. 따라서 양중계획 초기 단계부터 공정, 공법, 구조, 설계 등의 각 분야 담당자들이 참여하는 체계적인 리스크 검토를 통한 양중계획이 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 초고층 프로젝트 양중계획 실패 유형에 따른 리스크 요인들을 분석하고 전체 프로젝트에 미치는 영향도를 FMEA를 통해 분석하였다. 설문을 기반으로 하는 FMEA의 특성상 응답자에 따라 리스크 요인들의 우선순위가 달라질 수 있지만, 앞으로 수행 될, 초고층 프로젝트들의 실적 자료들이 더해진다면 보다 적절한 핵심 리스크 요인을 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 도출한 리스크 요인들은 초고층 프로젝트 양중계획 시 검토되어야 할 기초 자료로서의 활용 가치가 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 김문수 (2010). “초고층 건축공사 시공계획 수립 방안에 관한 연구”. 부경대학교 대학원 건설관리공학협동과정 석사학위 논문, pp. 22~27
- 김병용 · 김예상 (2012). “건설사업관리자 관점에서의 주요 사업비 초과 리스크 요인 분석”. 한국건설관리학회 논문집, 제13권 2호, 한국건설관리학회, pp. 147~155
- 김선국 · 한갑규 (2008). “건설 리프트의 적정 대수 산정에 관한 연구”. 한국건축시공학회 논문집, 제8권 제3호, p. 119
- 김윤성 (2002). “건설업에서의 시공 FMEA 적용 방안 연구”. 정기학술발표대회 논문집, 제3권, 한국건설관리학회, pp. 271~274
- 김정진 (2005). 초고층 건축공사의 양중계획 시스템에 관한 연구. 명지대학교 대학원 건축공학과 박사학위 논문, p. 11
- 박은경 (2009). “초고층 건설공사의 건설용 리프트 양중계획 영향인자에 관한 연구”. 경희대학교 대학원 건축공학과 석사학위 논문, pp. 33~36
- 박태룡 (2011). “초고층 커튼월 공사의 양중장비선정을 위한 체크리스트 개발에 관한 연구”. 서울과학기술대학교 주택대학원 석사학위 논문, p. 77
- 신윤석 (2011). “초고층 건축공사를 위한 건설 리프트 양중계획 시스템 개발”. 대한건축학회 논문집 구조계, 제27권 11호, p. 229
- 이현철 · 신석배 · 홍주현 · 고성석 (2009). “VE기반 공동주택 개발사업 리스크 평가에 관한 연구”. 한국건설관리학회 논문집, 제10권 4호, 한국건설관리학회, pp. 18~19
- 조지훈 · 조흥구 (2009). “프로젝트 공사기간과 연계된 극 초고층 타워크레인 최적화 선정에 관한 연구”. 한국건축시공학회 논문집, 제9권 6호, p. 132
- 홍영탁 (2004). “FMEA를 이용한 초고층 건축시공의 공기영향요인 평가”. 대한건축학회 논문집, 제20권 10호, pp. 183~188
- C. M. Tam, Arthur W. T. Leung and D. K. Liu (2002). “Nonlinear for Predicting Hoisting Times of Tower Cranes”, Journal of Computing in Civil Engineering January, p. 76
- Robin E McDermott (2009). “The Basic of FMEA”. pp. 6~8

논문제출일: 2012.12.02
 논문심사일: 2012.12.07
 심사완료일: 2013.04.23

요 약

최근 국내·외 대도시를 중심으로, 글로벌 경제 위기와 부동산 경기 침체로 중단되거나 연기되었던 초고층 프로젝트들이 재개되고 있으며, 이를 수주하기 위한 건설사들의 경쟁은 전보다 더욱 치열해지고 있다. 국내 건설사들이 초고층 건축 분야에서 경쟁력을 높이기 위해서는, 전체 프로젝트의 근간이 되는 중요한 요소인 양중계획의 체계적인 리스크 관리가 반드시 수반되어야 하지만, 여전히 개인적 경험에 의존하여 작성된, 양중계획의 오류로 인한, 현장 전체의 공기 지연 및 월가 관리 실패의 문제가 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는, 양중계획의 정확성을 높이기 위한 방안으로, 현행 양중계획 체계의 문제점을 분석하고, 계획 요소에 따라 실패 유형을 도출하였으며, 각 실패 유형이 전체 프로젝트의 공정, 원가, 안전관리에 미치는 영향도를 분석하였다. 또한 양중 장비별 세부 리스크 요인을 분석하고, 이를 바탕으로 FMEA 기법을 적용하여 초고층 프로젝트 양중계획의 핵심 리스크 요인을 도출하였다.

키워드 : 초고층, 양중계획, 리스크 요인, FMEA