

이동식 크레인의 접지설계 시스템

Mobile Crane Ground-Fixing System

호종관* 서종민** 김선국***
 Ho, Jong-Kwan Seo, Jong-Min Kim, Sun-Kuk

Abstract

A mobile crane has been more frequently used to deal with the increased capital-intensive projects in line with the economic growth, but the operation is still heavily dependent on personal experience in the past, resulting in severe overturn accidents that cause the loss of lives and damage to the properties. A crane shall be installed in a systematic manner that proved to be safe in engineering aspect, and should the installation and operation be blindly dependent on experience alone, it would apparently cause a great risk. Particularly the mobile crane, among others, frequently causes a severe overturn accident due to poor ground-fixing device. The study therefore focused on fixing system of mobile crane and the outcome is highly expected to make a great commitment to selecting the optimal type of crane for the project as well as to securing the safety during construction.

키워드: 이동식 크레인, 건설장비, 사고유형, 접지시스템
 Keywords: Mobile Crane, Construction Equipment, Cases of the Accident

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 양중물이 점차 대형화되고 빌딩이 고층화되면서 고소작업이 증가하고 있다. 이에 크레인의 사용이 증가되었으며, 특히 이동식 크레인 경우 국내 크레인 등록자료를 보면 2002년 약 5600대에서 2005년 6646대로 약18%가 증가하였다. 이동식 크레인의 사용은 경제발전과 더불어 자본집약적 공사를 수행하면서 사용빈도가 급증하고 있으나, 운영기술은 취약하여 아직도 많은 부분을 경험에 의존하고 있다. 그 결과 크레인의 전도 및 관련사고로 인해 재해사례가 증가하고 있다. 크레인 종류별 재해 분석(김홍현 외 2007)을 보면 이동식 크레인의 경우 전체 크레인 재해 중 약 61.4%를 차지했다.

이동식 크레인은 설치 시 체계적이고 공학적인 검증에 의거하여 설치되어야 하며, 단순히 경험에만 의존하여 설치, 운영되는 것은 여러 위험을 부담하게 된다. 플랜트 프로젝트 뿐 아니라 타워 크레인과 병행하여 사용하는 건설현장에서 이동식 크레인은 양중 생산성을 극대화하는 중요한 역할을 한다. 고정된 위치에서 운영되는 타워 크레인과 달리 이동식 크레인은 사용 시 안정성의 문제

가 매우 중요한 요인임에도 불구하고 많은 경우 경험에 의해 설치, 운영된다. 이에 이동식 크레인 설치 시 접지 설계에 관한 시스템 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 이동식 크레인의 접지설계 시스템 연구이다. 크레인의 접지설계 시스템 연구는 추후 크레인 설치 시 안정성 확보에 큰 기대효과를 가질 것이다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구는 이동식 크레인의 정의와 종류를 문헌조사를 통해 알아보고, 산업안전공단과 기존문헌을 통해 크레인 사고 사례 및 원인을 분석한다.

이를 기반으로 안정성검토 시뮬레이션을 이용하여 이동식 크레인의 안정성 확보를 위한 연구를 진행한다. 특히, 이동식 크레인에서의 접지 설계에 관한 시스템을 연구하여 프로그램에 적용한다. 다음 적용된 프로그램을 기반으로 선정된 이동

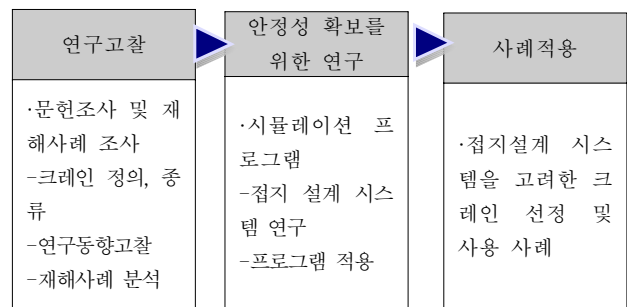


그림 1. 연구방법

* 일반회원, 삼성물산 건설부문 기술본부 TA팀 장비전문위원 hjkl11@samsung.com
 ** 일반회원, 경희대학교 건축공학과 석사과정(교신저자) jeongji301@dreamwiz.com
 *** 경희대학교 토목건축대학 산학협력기술연구원 교수, 공학박사 (교신저자) kimskuk@khu.ac.kr

식 크레인의 사용사례를 통해 접지설계 시스템을 검증한다.

2. 이론적 고찰

2.1 크레인의 정의

'크레인'이라 함은 동력을 사용하여 중량물을 매달아 상하 및 좌우(수평 또는 선회를 말한다)로 운반하는 것을 목적으로 하는 기계 또는 기계장치를 말한다²⁾ 또는 건설기계관리법시행령³⁾을 보면 크레인을 "훅이나 기타의 달리기구를 사용하여 하물의 권상과 이송을 목적으로 일정한 작업 공간내에서 반복적인 동작이 이루어지는 기계"라고 정의하고 있다.

분류는 이동식 크레인, 타워 크레인(T형, 러핑형), 천장식크레인으로 나누고 있다.

표 1. 크레인의 종류

종류	정의
이동식 크레인	안정성을 위하여 무게중심과 관련한 고정된 주행로가 필요 없이, 주행 및 권상이나 권하를 할 수 있고 마스트(타워 부착물)와 조합할 수 있는 크레인
타워 크레인	T형 수직타워 상부에 위치한 수평지브가 있는 회전 붐 크레인
	러핑형 수직타워 상부에 위치한 기복(luffing)지브가 있는 회전 붐 크레인
천장식 크레인	브리지(bridge)를 따라 이동할 수 있는 지브(jib) 크레인 혹은 권상장치(hoist) 및 크랩(crab)에 매달린 하중조절장치를 가진 크레인

2.2 관련연구 동향

이동식 크레인의 관한 연구는 일반적인 재해사례를 통한 원인분석, 아우트리거 설치 시 사고원인 분석 등의 안전성에 관한 연구와 이동식 크레인의 선정에 관한 연구가 진행되었다.

표 2. 이동식 크레인 안전관련 연구조사

연구자	내용	한계점
김홍현 이강 (2007)	크레인 관련 중대재해사례를 통해 재해 유형 및 원인을 분석	현장 적용 가능한 안정성 검토 미흡
김원기 (2003)	크레인 재해의 실태를 분석하고 산업재해를 사전에 방지하는 안전대책 제시	
Satoshi Tamate(2005)	아우트리거 설치 시 모바일 크레인 불안정성 분석	
Leonard E.Bernold(1997)	이동식 크레인의 사고예방을 위한 지식기법	

2) 산업안전기준에 관한 규칙 제100조 제2항 제1호, 2006.12.30 개정판
3) 건설교통부, 건설기계관리법시행령, 별표1 건설기계의 범위(제2조 관련), 개정2000.6.27 대통령령 제16872호

표 2의 이동식 크레인 안전에 관한 연구조사를 보면 재해사례를 통한 이동식 크레인의 사고사례를 설명하고, 안전대책을 강구하는 연구가 진행되었다. 그러나 현장 적용 가능한 안정성 검토가 미흡한 실정이다. 표 3의 이동식 크레인의 선정 관련 연구조사를 살펴보면, 이동식 크레인의 사용실태 및 적정 크레인 선정 방안에 관한 연구가 진행되었으나 선정된 크레인에 관한 안정성 검토가 부족하고 실무에 적용 가능한 크레인 정보가 미흡하였다.

이동식 크레인의 사고원인 분석을 통한 결과를 프로그램에 적용시켜 보고 실제 사용 사례를 통해 검증하는 연구는 진행되지 않았다. 본 연구는 이동식 크레인의 사고원인을 알아보고 접지 설계 시스템을 적용한 안정성 검토 프로그램을 통해 크레인 사용에 관한 안정성을 확보하려 한다.

표 3. 이동식 크레인 선정 관련 연구조사

연구자	내용	한계점
김훈(2000)	양중장비 선정을 위한 의사결정 모델을 제안	.선정된 크레인에 관한 안정성 검토 부족 .실무에 적용 가능한 크레인 정보 미흡
Aviad Shapira(1996)	건설현장에서의 이동식크레인 사용실태 조사	
Aviad Shapira(2007)	건설 프로젝트의 적정 크레인 선정	
Mohamed Al-Hussein(2005)	이동식크레인 위치 및 선정에 관한 최적 알고리즘	

3. 이동식 크레인 사고분석

3.1 이동식 크레인 사고사례

한국산업안전공단의 크레인관련 재해사례통계(2007)조사를 통해 122건에 관한 사고사례를 조사하였다.

표 4의 크레인 종류별 재해건수 집계를 살펴보면 이동식 크레인이 79건으로 전체건수의 약64%를 차지했다.

표 4. 크레인 종류별 재해건수 집계현황

구분	이동식	고정식		천장
		타워	러핑	
사례건	79	32	2	9
합계	122			

크레인 종류별 재해자수 집계현황을 보면 그림 2와같이 이동식크레인에 의한 사망이 81명으로 전체사망자수의 63.28%를 차지했다. 부상자는 9명으로 전체 부상자의 34.62%를 차지했다. 크레인에 관한 대부분의 사고는 사망을 동반하는 중대재해사고라는 것을 알 수 있다.

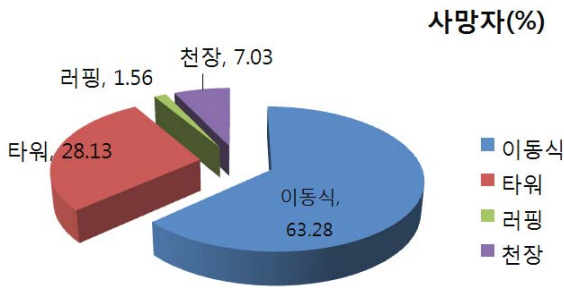


그림 2. 크레인 종류별 재해자수 집계현황

최근 5년간(2003~2007) 발생시기별 현황을 조사해 본 결과 설치, 해체, 상승작업 시 재해가 전체 67%를 차지했으며 사용 중 재해는 33%를 차지했다.

크레인 종류별 재해발생형태를 집계해 보면 추락, 낙하, 전도, 붕괴, 감전 등의 다양한 형태로 사고가 발생했다. 그 중 이동식 크레인에 관한 사고가 79건이며, 발생형 비율은 다음 그림 3과 같다.

추락⁴⁾이 25%, 낙하/비래⁵⁾가 29%로 가장 많은 비율을 차지했으며, 전도·전복⁶⁾이 7.5%, 감전사고가 15%로 발생되었다. 이동식크레인 재해발생은 추락과 낙하/비래가 54%로 많은 비율을 나타냈다.

전도, 전복의 사고(7.5%)는 사람이 넘어진 사례가 아닌 장비가 넘어져 발생한 사례였다.

재해발생비율(%)

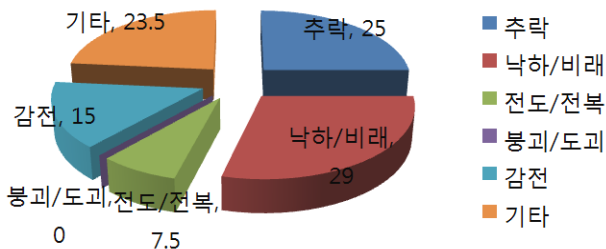


그림 3. 이동식 크레인 재해발생형태 집계

3.2 이동식 크레인 사고원인 분석

이동식 크레인의 사고원인은 작업방법 불량(35%), 위험 방지조치 미흡(15%), 감전 방지장치 미흡(11%), 각종 방호장치 미흡(8.8%), 관리감독 소홀(8.8%), 각종 기계장비

불량(7.5%), 기타(13.9%)로 조사되었다. 주요 사고원인은 작업방법 불량과 위험 방지조치 미흡으로 전체원인 중 50%를 차지하였다.

표 5. 이동식크레인 사고원인

순 위	원 인	건 수	비 율 (%)
1	작업방법 불량	28	35
2	위험 방지조치 미흡	12	15
3	감전 방지장치 미흡	9	11
4	각종 방호장치 미흡	7	8.8
5	관리감독 소홀	7	8.8
6	각종 기계장비 불량	6	7.5

3.3 이동식 크레인의 전도/전복에 관한 사고원인 분석

이동식 크레인의 전도, 전복에 관한 사고 분석에서 총 79건의 이동식 크레인의 사고 중에서 전도/전복은 6건(7.5%)을 차지했다. 사고원인으로는 아우트리거 거치상태 불량⁷⁾이 4건(66%)이었고, 지지력 미확보로 인한 부분침하⁸⁾가 2건(33%)이었다. 사고의 주요 원인은 경험에 의존한 잘못된 접지설계로 인한 사고였다.

4. 안정성 확보를 위한 연구

4.1 접지설계 시스템 연구

타워크레인⁷⁾과 병행하여 사용하는 건설현장에서 이동식 크레인은 양중생산성을 극대화하는 중요한 역할을 한다. 고정된 위치에서 운영되는 타워크레인과 달리 이동식 크레인은 사용 시 안정성의 문제가 매우 중요한 요인임에도 불구하고 많은 경우 경험에 의해 설치·운영된다. 양중물의 형태, 슬링⁷⁾(sling)의 종류, 러그⁸⁾(lug)의 유형, 접지압 확보 유무 등 다양한 요인에 의해 이동식 크레인의 안정성을 평가함에도 불구하고 현장에서는 사고가 발생하였으며, 심각한 인명사고를 초래하였다. 특히, 이동식 크레인의 사고 중 접지설계의 부적절함에 의해 발생하는 사고는 모두 사망을 동반하는 중대재해 사고로 발생된다.

Satoshi (2005)는 이동식 크레인의 아우트리거 설치 시 불안정성을 분석하여 접지설계 시 고려사항을 제안했다.

본 연구의 안정성 검토 프로그램은 이동식 크레인의 불안정성을 방지하기 위하여 다음의 반력 계산 프로그램을 바탕으로 시스템화하여 만들어졌다.

안정성 검토 프로그램은 4가지 방법으로 최대접지 하중을 계산하였다. 충격 하중을 고려할 때와 고려하지 않을 때의 최대 접지 하중 값을 계산하였다.

4) 추락: 사람이 중력에 의하여 건축물, 구조물, 수목, 사다리 등의 높은 장소에서 떨어지는 것, (한국산업안전공단 2006)
 5) 낙하,비래: 구조물, 기계 등에 고정되어 있던물체가 중력, 원심력, 관성력 등에 의하여 고정부에서 이탈하거나 또는 설비 등으로부터 물질이 분출되어 사람에게 가해한 경우, (한국산업안전공단 2006)
 6) 전도, 전복: 사람이 거의 평면 또는 경사면, 층계 등에서 구르거나 넘어짐 또는 미끄러진 경우와 물체가 전도, 전복된 경우, (한국산업안전공단 2006)

7) 슬링: 중량을 달아 올릴 때 크레인의 후크나 샤프클에 걸기위한 부재로 웹과 와이어로프가 있다.
 8) 러그: 중량물을 달아 올릴 때 크레인의 후크나 샤프클을 걸기위한 구멍 뚫린 부재를 말하며 주로 용접하여 부착함.

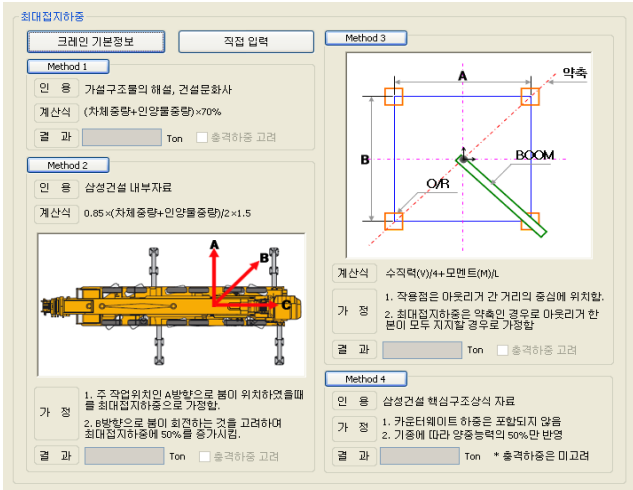


그림 4. 반력 계산 프로그램 화면

(1) 방법 1

방법 1은 차체중량과 인양물 중량으로 충격하중 고려 때와 고려하지 않을 때의 최대접지하중을 계산하는 과정이다.

.충격하중 미 고려 시

$$P_{max} = (W + W_1) \times 0.7 \quad (1)$$

.충격하중 고려 시

$$P_{max} = (W + W_1) \times 0.7 \times 1.3 \quad (2)$$

W : 차체 중량 W₁ : 인양물 중량

(2) 방법 2

방법 2는 붐의 위치(A, B, C)에 따라 최대접지하중을 계산하였다. 작업 시 붐 위치는 A, B, C로 크게 나눌 수 있음을 가정한다.

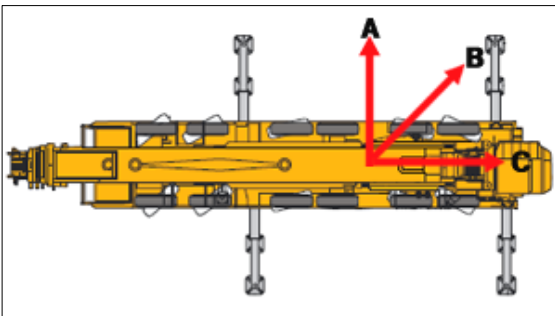


그림 5. 하이드로 크레인의 최대반력 계산

최대반력은 붐이 B의 위치에 위치하였을 때 아우트리거에 최대로 작용하나 주 작업위치가 아니고 일시적으로 회전하며 지나가므로 최대반력이 작용하는 지점으로 보기는 어렵다. 그러므로 주 작업위치인 A방향으로 붐이 위치하였을 때를 최대반력으로 간주하고 B방향으로 붐이 회전하는 것을 고려하여 최대반력에 50%를 증가시킨다.

.충격하중 미 고려 시

$$P_{max} = 0.85 \times (W + W_1) \times 0.5 \times 1.5 \quad (3)$$

.충격하중 고려 시

$$P_{max} = 0.85 \times \{(W + W_1) \times 1.3\} \times 0.5 \times 1.5 \quad (4)$$

W : 차체 중량 W₁ : 인양물 중량

(3) 방법 3

방법 3은 작용점이 아우트리거 간 거리의 중심에 위치 함하며 최대반력은 약축인 경우로 아우트리거 한 본이 모두 지지할 경우로 가정하여 최대 접지 하중을 계산하였다.

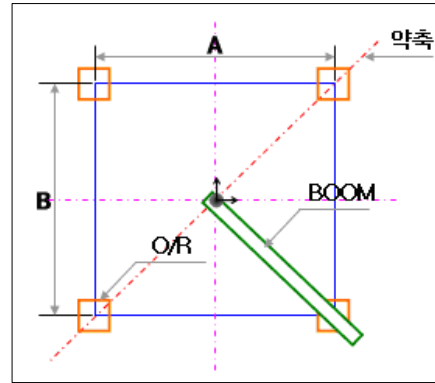


그림 6. 최대반력 계산

.충격하중 미 고려 시

$$V(t) = (W + W_1)$$

$$M(t/m) = (W + W_1) \times R$$

$$L(m) = \sqrt{(A^2 + B^2)} / 2$$

$$P_{max} = V/4 + M/L \quad (5)$$

.충격하중 고려 시

$$V(t) = (W + W_1) \times 1.3$$

$$M(t/m) = (W + W_1) \times R$$

$$L(m) = \sqrt{(A^2 + B^2)} / 2$$

$$P_{max} = V/4 + M/L \quad (6)$$

W : 차체 중량 W₁ : 인양물 중량

R : 작업 반경 A, B : 아우트리거 간 거리

(4) 방법 4

방법 4는 카운터 웨이더 중량은 포함되지 않는 것과 기종에 따라 양중능력의 50%(실용하중) 반영하는 것을 가정하여 최대 접지하중을 계산하였다.

4.2 시뮬레이션 프로그램을 통한 연구

이동식크레인 재해사례 분석결과에서와 같이 발생시기 별 재해현황에서 설치, 해체, 상승작업 중의 재해가 전체 67%를 차지했으며, 사용 중 사고는 33%를 차지했다. 또한 재해발생형태 별 조사결과 낙하와 추락의 재해가 전체 재해의 48.5%를 차지했다.

재해사고를 예방하여 장비의 안정성을 확보하고, 필요한 장비를 신속하게 선정하기위해 다음의 안정성 검토 프로

그램을 사용한다. 본 프로그램은 접지 설계 시스템을 바탕으로 만들어졌다. 본 연구의 접지 설계 시스템은 최대 접지 하중을 계산하는 과정을 안정성 검토 프로그램과 함께 설명하려 한다. 그림 7과 같이 프로그램의 개념은 이동식크레인의 효율적 선정과 작업안정성을 확보하는 것이다. 측정 프로세스는 조건별 장비를 선택하고 장비작업 시뮬레이션을 실행한 후 이론적 안정성을 검증하며 장비의 안정성을 확보하는 단계로 진행된다.

항목	컨셉/최적안	기타
개념	-M/Crane 효율적 선정 및 작업안정성을 확보함 -실제 양중 작업전 시뮬레이션 기능을 구현함	
디자인 요소	제품/서비스 1단계: 장비의 DB를 구축 및 안정성 검토항목을 정하고 2단계: 조건별 장비 조합과 이론적 검증으로 작업 안정성을 확보함	
	측정 프로세스 조건별 장비 선정 → 장비작업 시뮬레이션 → 이론적 안정성 검증 → 장비안전성 확보	

그림 7. 프로그램 최적 시스템 설계안

프로그램은 표 6의 설계내용으로 구성되어 있다. 양중유형은 12개로 단순화하여 양중물의 무게와 중심을 계산하기 쉽게 하였으며, 크레인 한 대 또는 두 대를 동시에 작업할 경우를 각각 구분하여 이동식 크레인 양중작업 시뮬레이션을 실시할 수 있도록 설계안을 확정하였다. 또한 양중 안정성 확보를 위하여 슬링의 유형과 말단처리 방법에 따른 요인을 반영하고, 러그의 구조계산을 실시간으로 수행할 수 있도록 하였다. 접지압 및 지반보강 부분에서는 이동식 크레인의 최대 접지압을 계산한 후 토질의 종류 및 슬래브의 특성에 따라 지반을 보강할 수 있도록 최종 설계안에 반영하였다.

표 6. 이동식크레인 설계내용

설계 항목	설계안	표기
양중유형 및 무게중심	유형: 12개로 단순화 계산: 단순화된 도형으로 계산	그림 및 숫자
단순 및 복합인양 결정	단순: 간섭물이 있을 때와 없을 때로 구분 복합: 수평인양 과 세로방향 인양 구분	그림표기
시뮬레이션	단순 및 복합인양으로 표기 각 크레인의 인양하중 숫자로 표기	그림 및 숫자
슬링유형 결정	와이어 및 웹벨트 2가지로 구분 결속유형 27개로 구분	그림선택
슬링환경 설정	안전율 6 및 결박법 10가지로 표기	그림선택
접지압 계산	접지압계산 2가지 타입으로 구분 작업물 위치에 따라 계산방법 변경	선택계산
지반보강	접지압 및 지반조건에 따라 계산 슬래브 상부작업 포함 계산	선택계산

표 5의 이동식 크레인 설계내용을 바탕으로 안정성 검토 시스템 플로우를 작성하였다. 안정성 검토 시스템 플로우는 프로젝트 설정, 인양물 정의, 크레인 선정, 슬링

검토, 러그 검토, 접지압 계산, 지내력 보강 검토, 구조물 보강 검토 순으로 구성되어 있다. 프로젝트 설정은 프로젝트명, 부서명, 담당자 등, 인양물 정의는 인양물 관련 기본 정보 정의, 크레인 선정은 단순인양/복합인양, Hydraulic/Crawler, Slings 검토는 기본정보, 세부정보, 부재선택(wire rope/shackle), 안정성 검토, Lug 검토는 Lug유형/재질, 상세설계 및 안정성 검토, 접지압 계산은 Hydraulic/Crawler, 접지압 계산, 지내력 보강 검토는 평지/사면, 접지 플레이트 설계(Hydraulic의 경우), 구조물 보강 검토는 크레인의 구조물 상재 시 안정성 검토

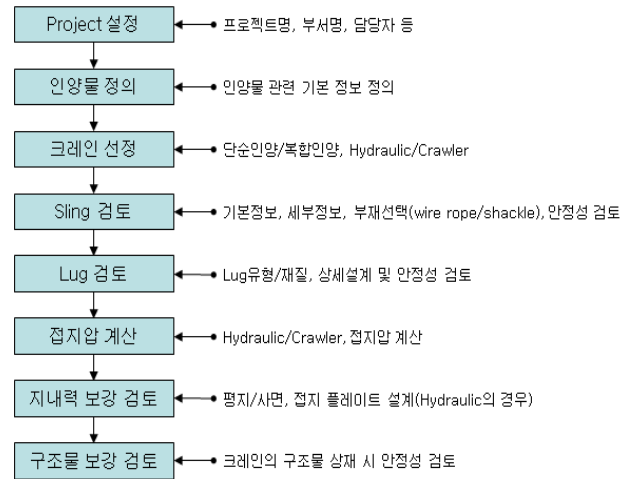


그림 8. 이동식 크레인의 안정성 검토 시스템 플로우

다음은 이동식 크레인의 설계내용 및 안정성 검토 시스템 플로우를 바탕으로 만들어진 프로그램으로 최적 크레인 선정과 안정성을 검토한다. 본 연구에서는 접지설계 시스템에 관한 프로그램을 중점으로 다루었다.

최적설계안 선정을 위한 프로그램 순서는 먼저 인양유형 및 무게중심을 계산한다.

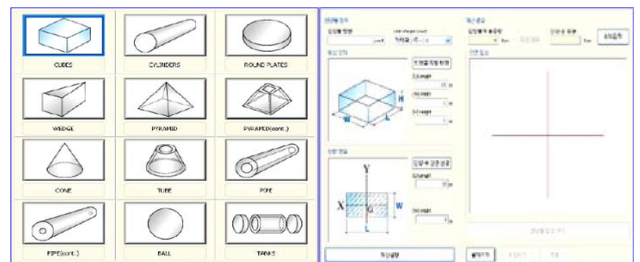


그림 9. 인양유형 선정

그림 10. 무게중심 계산

인양물의 물리적 특성이 결정되면 작업환경에 따른 최적 장비를 선정하게 된다. 작업반경과 양중무게 그리고 인양 높이에 따라 장비를 1대 혹은 2대를 선정하는 지를 결정한다. 1대 작업 시에는 간섭물이 있는 경우와 없는 경우로 나눌수 있고 2대 동시 작업 시에는 2대가 동시인양 할 경우와 타워같이 한 대가 먼저 리프트하여 수직으로 설치되는 경우로 나누어 시뮬레이션을 할 수 있도록 하였다.

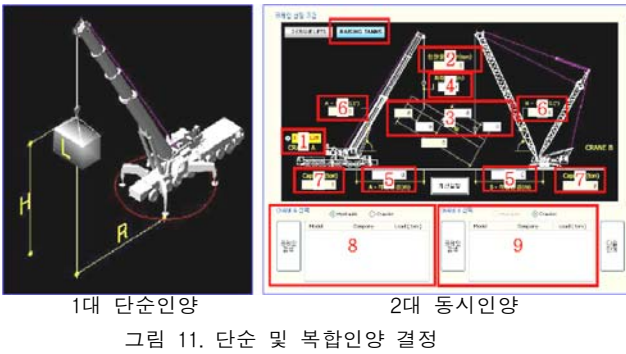


그림 11. 단순 및 복합인양 결정

다음은 작업 시행 전 시뮬레이션을 통해 한 대 또는 두 대의 크레인 작업 시 위험정도를 예측할 수 있도록 하였다. 한 대로 작업 할 경우 작업반경과 인양중량 그리고 간섭물의 영향 등을 고려하여 검토할 수 있으며, 두 대의 크레인 작업 시에는 크레인 각 각의 슬링 로프에 작용하는 인양하중을 시뮬레이션 시 즉시 확인 가능 토록하여 실제 작업 시 위험정도를 사전에 예측해 볼 수 있도록 하였다.

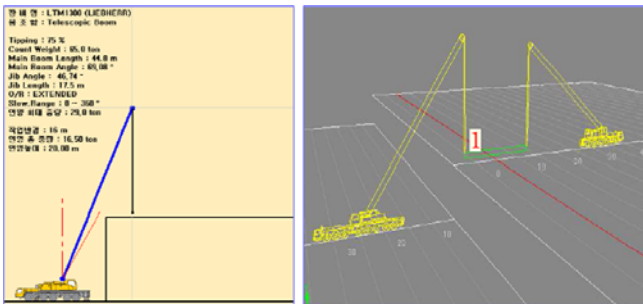


그림 12. 작업시행전 시뮬레이션

다음으로는 슬링유형을 결정하고, 슬링환경을 결정한다. 그림 13의 슬링의 기본정보에는 슬링 유형, 슬링 취부방법, 인양물 중량, 예외하중 고려, 슬링 가닥 수, 슬링각도 등을 입력하여 반영한다. 슬링환경은 안전요인, 사용로프 꼬임여부, 로프단말 가공법에 따른 저감계수와 작업특성에 따른 충격계수 등을 반영할 수 있다.



그림 13. 슬링검토 화면

슬링 검토 후 리그의 치수, 재질, 용접유형 등을 입력하여 리그의 안정성을 검토할 수 있다.

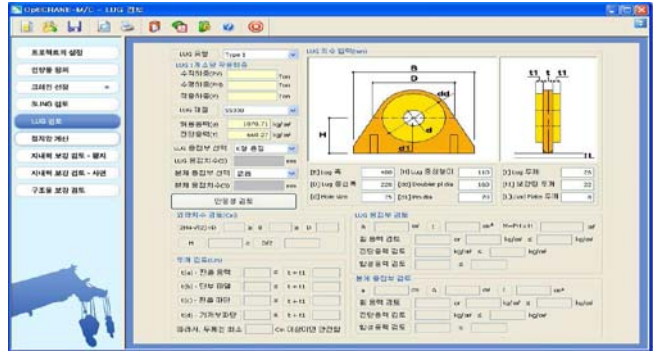


그림 14. 리그 검토 화면

다음 순은 크레인의 기본정보, 반력, 작업방향, 충격하중 비율 등을 입력하여 최대 반력을 계산하고 접지압을 계산하는 과정이다.



그림 15. 접지압 계산화면

본 프로그램에서는 아우트리거를 구비한 하이드로크레인 과 크롤러 크레인 두가지 타입으로 구분하였으며 각각의 특성에 적합하도록 이론을 반영하였다. 그림 15는 하이드로크레인 선정 시 접지압 계산 화면이다. 크레인의 종류와 입력 데이터에 의해 간단히 최대 접지압을 계산 할 수 있다.



그림 16. 크레인 기본 정보 화면

그림 16은 크레인의 기본정보 입력 과정으로 크레인의 정보 및 정격인양 총중량, 작업반경 등을 확인할 수 있

며, 일부는 변경할 수 있다. 또한 크레인의 반력 값을 직접 입력 할 수 있다.

크롤러 크레인의 경우는 작업방향에 상관없이 인양 총 중량에 의해 접지압을 계산할 수 있는데 이때 적용되는 그래프이다.



그림 17. 크롤러 크레인 접지압 그래프
다음은 경사면과 평지에서 아웃리거 및 크롤러 사용 시 안전성을 검토한다. 경사면에서는 토질종류에 따라 사면에서 어느 정도 이격 되어야 하는지를 개략적으로 보여준다. 평지에서는 목재 받침 및 철판의 규격과 두께를 검토할 수 있도록 하였다.

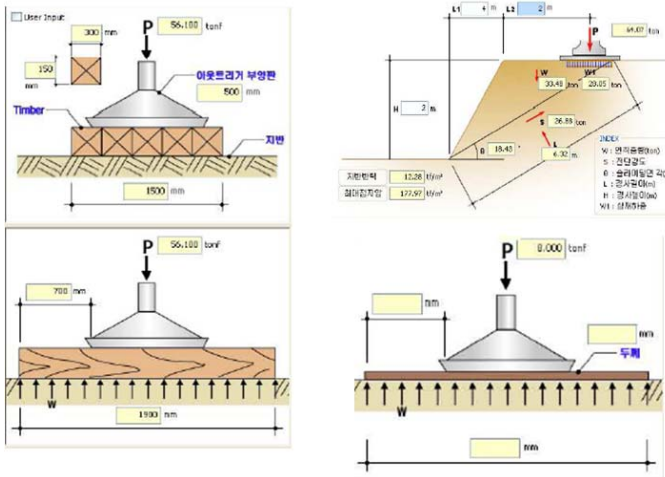


그림 18. 경사면과 평지에서 안정성 검토

다음은 지내력 보강 검토 과정으로 크레인이 경사면에 놓일 경우 장비 하중에 의한 토질의 토성치에 따라 사면의 붕괴 여부를 검토하고 보강 방법을 제시한다. 또한,



그림 19. 지내력 보강 검토-사면 화면

상재하중이나 집중하중에 의해 흠막이에 발생하는 추가 축압을 계산하고 결과를 표시한다.



그림 20. 구조물 보강 검토 화면

다음은 구조물 보강 검토 과정으로 크레인이 구조물의 슬래브나 보에 위치하였을 경우 부재의 안정성을 간략하게 검토해 보고 결과에 따라 보강 방법을 제시한다. 단, 구조물에 대한 정확한 안정성 검토는 구조 전문가를 통해 확인해야 한다.

5. 적용사례

본 시뮬레이션 개발은 2006년 전반기에 완료되어 금년 후반기, 7월 이후부터는 건설현장을 대상으로 테스트를 계속 실시하였다. 실제 작업수행 전 그림 21과 같이 장비선정 및 Sling, 그리고 지반에 대한 검토를 실시하여 적용한 결과

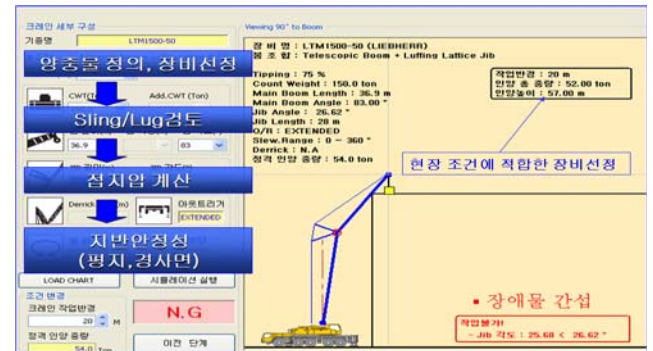


그림 21. 현장 안전성 검토 프로그램 적용



그림 22. 선정된 이동식 크레인 적용

크레인의 선정과 안정성 있는 공사에 많은 기여를 했다. 특히, 교량가설 현장에서 PC-Beam 설치 시에 장비선정 및 안정성 검토에 많은 도움이 되었다. 그림 23은 교량의 PC-Beam를 거치하는 것을 시뮬레이션 한 자료이다.

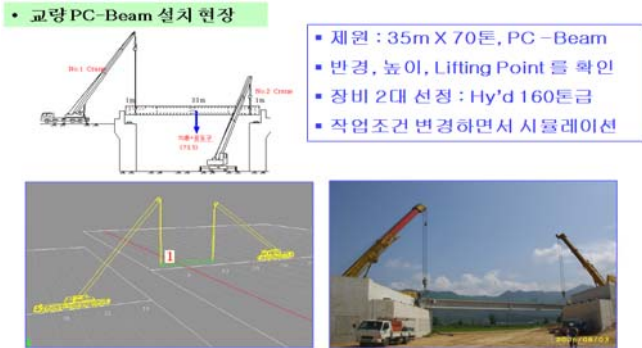


그림 23. 교량 PC-Beam 설치 현장

6. 결론

본 연구는 이동식 크레인의 사고사례 및 원인을 알아보고 이를 기반으로 안정성검토 시뮬레이션을 이용하여 이동식 크레인 안정성 확보를 위한 연구를 진행했다. 크레인 관련 사고사례 조사결과 이동식크레인이 전체 사고 중 약64%를 차지했다. 이동식크레인 사고는 대부분 사망을 동반하는 중대재해 사고였다. 최근 5년간 발생 시기별 현황을 조사해 본 결과 설치, 해체, 상승작업 시 재해가 전체 67%를 차지했으며 사용 중 재해는 33%를 차지했다. 크레인 종류별 재해발생형태를 보면 추락, 낙하의 비율이 전체의 54%를 차지했다. 다음 순으로 전도, 전복은 7.5%를 차지했다. 전도, 전복의 사고는 사람이 넘어진 사례가 아닌 장비가 넘어져 발생한 사례였다.

이동식 크레인의 사고원인은 작업방법 불량(37.69%), 각종 방호장치 미흡(18.03%), 각종 기계장비 불량(10.66%)이 전체원인의 약 65%를 차지했다.

이동식 크레인의 전도, 전복에 관한 사고원인은 또한 작업방법 불량이었으며, 주된 원인은 경사면 접지설계와 부적절한 아우트리거의 설치로 인한 사고발생이었다.

이에 본 연구는 이동식 크레인의 사고원인 중 하나인 전도, 전복 사고에 대한 안정성 확보를 위한 접지 설계 시스템을 연구하였다. 이를 바탕으로 한 안정성 검토 프로그램을 제시한다. 재해사고를 예방하여 장비의 안정성을 확보하고, 필요한 장비를 신속하게 선정하기위해 안정성 검토 프로그램을 사용하였다. 측정 프로세스는 조건별 장비를 선택하고 장비작업 시뮬레이션을 실행한 후 이론적 안정성을 검증하며 장비의 안정성을 확보하는 단계로 진행되었다.

이동식 크레인의 설계내용은 양중유형 및 무게중심, 단순 및 복합인양 결정, 시뮬레이션, 슬링유형 선정, 슬링환

경 선정, 접지압 계산, 지반보강으로 이루어져 있다. 특히 접지압 및 지반보강은 이동식크레인과 작업 조건에 따른 지반의 안정성을 검토한다. 본 연구는 이동식 크레인의 안정성 확보를 위한 사고원인을 알아보고, 안정성검토 프로그램을 통하여 크레인의 안정성확보를 위한 연구를 진행하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 많은 공사에 적용하여 보고 미흡한 부분과 수정사항을 보완하여 최적의 시스템을 강구하여야 할 것이다. 이에 최적 이동크레인 선정 시스템 개발에 관한 향후연구가 요구된다. 이 연구 결과는 양중에 필요한 최적크레인을 선정하고, 장비의 안정성을 확보하는 기대효과를 가져올 것이다.

참고문헌

1. 김원기, 크레인 사망 재해 실태와 안전대책에 관한 연구, 계명대학교 석사논문, 2003
2. 김홍현, 이강, 크레인 관련 중대재해사례를 통한 재해 유형 및 원인 분석. 한국건축시공학회 학술.기술논문발표회 논문집, 제7권 제1호, 한국건축시공학회, p.p. 109~112, 2007
3. 김훈, 고층 건축공사의 리프트 선정 의사결정 모델에 대한 연구, 한양대학교 석사논문, 2000
4. 이명구, 노민래, 기초앵커 불량시공에 따른 타워크레인 사고의 원인 분석, 한국산업안전학회 추계학술발표회 논문집, 한국산업안전학회, p.p.411~416, 2000
5. 이명구, 설종협, 타워크레인 설치계획 및 구조보강 방법 소개, 건설기술쌍용 여름호, 제23권, pp.32~37, 2002
6. 한국산업안전공단, KOSHA CODE G-8. 산업재해 기록.분류에 관한 지침. p.p.23~27. hppt://www.kosha.or.kr, 2007
7. 허담, 이덕찬, 손창백, 신현식, 고층 건축공사의 양중계획 최적화 방안에 관한 연구(1), 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), 제14권 제2호, 대한건축학회, p.p. 779~784, 1994
8. 호종관, 이동식크레인 선정과 안정성검토 시뮬레이션 프로그램 개발. 건축, 제51권 제1호, 대한건축학회, p.p.91~9, 2007
9. Aviad Shapira, Jay D. Glascock, Culture of Using Mobile Cranes for Building Construction. J. of Construction Engineering and Management, V.122 N.4, ASCE, p.p. 298~307, 1996
10. Aviad Shapira, Gunnar Lucko, Clifford J. Schexnayder Cranes for Building Construction Project, J. of Construction Engineering and Management, V.131 N.6, ASCE, p.p. 690~700, 2007
11. Leonard E. Bernold, Steven J. Lorenc, Erik Lucus, Intelligent Technology for Truck Crane Accident Prevention, J. of Construction Engineering and Management, V.123 N.3, ASCE, p.p. 278~284, 1997
12. Mohamed AL-Hussein, Sabah Alkass, Osama Moselhi, Optimization Algorithm for Selection and Site Location of Mobile Cranes, J. of Construction Engineering and Management, V.131 N.5, ASCE, p.p. 579~590, 2005
13. Satoshi Tamate, Naoaki Suemasa, Toshiyuki Katada, Analyses of Instability in Mobile Cranes due to Ground Penetration by Outriggers, J. of Construction Engineering and Management, V.131 N.6, ASCE, p.p. 689~704, 2005