

이동식 크레인의 슬링 · 러그 선정 및 안정성 검토 연구

A Study on the Selection and Stability of Slings and Lugs of Mobile Cranes

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

요 약

건축공사의 규모가 대형화, 고층화, 복잡화됨에 따라 자재, 노무, 장비 등의 물류량의 증가로 건설장비의 사용이 증가하고 있다. 특히, 고층빌딩 신축 및 공장건설 등으로 건설장비 중 이동식 크레인의 사용빈도가 증가하고 있다. 이러한 이동식 크레인의 사용 증가와 함께 크레인 관련 중대재해사례도 증가하고 있다. 크레인 관련 중대재해사고를 줄이기 위해서 안전성 검토를 위한 연구의 필요성이 제시된다. 본 연구는 이동식 크레인의 슬링 및 러그의 선정과 안정성 검토를 위한 연구를 실시하였다. 이 연구결과는 이동식 크레인의 효율적인 선정과 작업안정성 확보에 큰 기대효과를 가질 것이다.

키워드: 이동식 크레인, 건설장비, 안정성, 슬링, 러그

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

건축공사의 규모가 대형화, 고층화, 복합화 됨에 따라 자재, 노무, 장비 등의 물류량의 증가로 건설장비의 사용이 증가하고 있다. 이러한 건설장비의 선정 및 운영, 양중 계획이 중요한 관리요소로 작용하며, 특히 건설장비사용의 증가로 인하여 장비의 선정, 운용과 더불어 장비의 안정성 확보는 공사 프로젝트의 중요한 관리 요소로 작용하게 되었다.

최근 경제 개발 및 산업발전에 힘입어 고층빌딩 신축 및 공장 건설 등으로 건설 장비 중 이동식 크레인의 사용빈도가 증가하고 있다. 이동식 크레인의 경우 장비등록대수 증가하고 있으며 양중물이 대형화됨에 따라 장비의 규모 또한 대형화 되고 있다. 이러한 건설현장에서의 고소작업 증가와 양중물의 대형화로 인하여 크레인 관련 중대재해사례가 증가하고 있으며 이 중 64%가 이동식크레인과 관련하여 일어나고 있다. 건설산업에서 크레인의 안정성에 대한 연구는 Beavers(2006)는 건설 산업에서의

크레인의 위험요소와 사고사례의 분석을 통하여 장비사용시 안정성 확보의 중요성을 이야기 하였으며 Tomas(2005) 또한 이동식 크레인의 전도 · 전복 사고원인을 알아보고 그 대책 방안을 강구하는 연구를 수행하여 국외에서는 이미 이동식 크레인의 안정성에 관한 연구가 진행 되었다.

국내의 경우도 대형 건설장비의 사용과 고소작업의 증가로 크레인 관련 안전사고가 증가하고 있으며 크레인 종류별 재해 분석 김호현(2007)을 보면 이동식 크레인의 경우 전체 크레인 재해 중 약 61.4%으로 이동식 크레인의 안전에 대한 관리가 필요함을 알 수 있다.

이처럼 이동식 크레인의 안전사고가 빈번히 발생하고 있지만 국내의 대부분의 건설현장에서는 아직 상당부분을 경험에 의존하여 장비를 선정하고 운용하고 있다. 따라서 객관적인 검증을 통한 장비의 안정성 확보를 통하여 장비의 효율적인 운용이 필요하다.

이에 본 연구의 목적은 이동식 크레인의 슬링 · 러그 선정 및 안정성 검토 연구이다. 연구의 범위는 슬링¹⁾과 러그²⁾로 제한하였다.

이 연구결과는 이동식 크레인의 효율적인 선정과 작업안정성 확보에 큰 기대효과를 가질 것이다.

* 중신회원, 경희대학교 토목건축대학 산학협력기술연구원 교수, 공학박사 kimskuk@khu.ac.kr
 ** 일반회원, 경희대학교 건축공학과 석사과정(교신저자), jeongji301@dreamwiz.com
 *** 일반회원, 삼성물산 건설부문 기술본부 TA팀 장비전문위원 hjk111@samsung.com

1) 슬링: 중량을 달아 올릴 때 크레인의 후크나 샤키에 걸기위한 부재로 웹과 와이어로프가 있다.
 2) 러그: 중량을 달아 올릴 때 크레인의 후크나 샤키를 걸기위한 구멍 뚫린 부재를 말하며 주로 용접하여 부착함.

1.2 연구범위 및 방법

1) 본 연구는 국내외 타워 크레인 및 이동식 크레인 관련 연구 문헌 분석을 통하여 선정 및 안정성 검토 방법에 대한 적용상의 문제점 및 한계를 파악하였다.

2) 이동식 크레인의 사고사례 및 사고 원인을 산업안전공단과 기존문헌의 분석을 통하여 분석하였으며 이동식 크레인의 안정성 검토를 위한 연구방향을 설정하였다.

3) 이동식 크레인의 안정성 검토를 위하여 크레인의 슬링과 러그에 관한 안정성 검토 연구를 진행하였다.

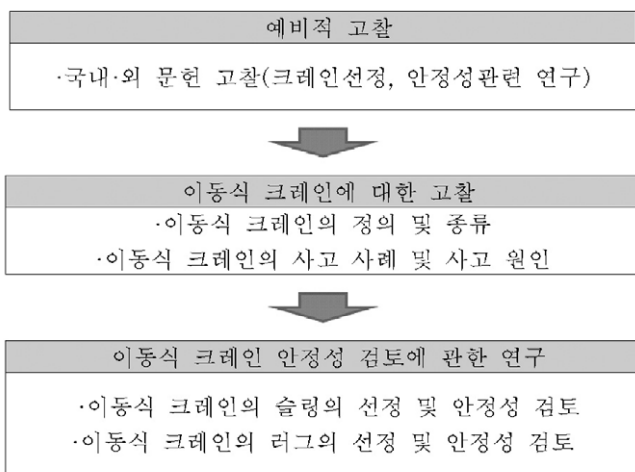


그림 1. 연구방법

2. 이론적 고찰

2.1 국내문헌 연구

국내 연구는 타워크레인의 선정관련 연구와 크레인의 안정성 관련 연구 및 이동식 크레인에 관한 연구로 나누어 고찰하였다.

2.1.1 타워크레인 선정관련 연구

강경인(1996)은 타워크레인 위치 및 기중선정을 중심으로 하는 양중계획 합리화 연구를 진행하였으며 실무자와의 면담을 통해 타워크레인의 기중 및 위치선정에 대한 일반적인 프로세스와 영향요인을 파악하였다. 이 연구는 영향요인을 타워크레인 기중 및 위치선정에 필수적인 절대적 요인과 건설현장별 특수성에 기인하는 요소의 상대적 요인으로 구분하였고, 타워크레인 선정에 영향을 미치는 거리·부재의 중량, 인접건물의 간섭 등을 절대적 요인으로 분석하여 타워크레인의 선정절차를 제안하였다.

남시대(1996)는 고층건물에서 타워크레인 사양에 대한 데이터 베이스와 부재의 위치 및 중량 데이터를 이용하여 타워크레인의 기중과 위치를 제시해 주는 시스템을 제시하였다. 그러나 현장의 다양한 여건을 반영하지 못하고 여러 가지 대안에 대한 평가 방법이 제시되어 있지 않다.

김훈(1999)은 고층건축공사의 리프트선정 의사결정모델에 대한 연구를 사례를 통해 진행하였으며 사례를 중심으로 한 양중장비 선정 프로세스의 문제점을 분석하여 양중장비선정을 위한 의사결정 모델을 제시하였다. 그러나 프로세스 각 단계의 세부 내용이 빈약하다.

표 1. 타워크레인 선정 관련 국내 문헌고찰

년도	연구 내용	평가
남시대 (1996)	-일본 양중계획 시스템에 대한 소개 -기동을 향상을 위해 실적데이터를 수집, 분석하는 과정을 제안	설치 가능한 위치 및 기중만을 제시하고 평가 과정이 없음
김훈 (2000)	-양중장비 선정을 위한 의사결정 모델 제안	프로세스 각 단계의 세부 내용이 빈약함 각 양중계획 영향요소의 변화에 따른 결정사항의 결과를 고려치 않음
강경인 (1996)	-실무자와의 면담을 통해 타워크레인의 기중 및 위치선정의 절차 및 영향요인 파악 -영향요인은 절대적 요인과 상대적 요인으로 구분 -타워크레인 선정 절차 제안	평가 시 절대적 요인에 대한 연구만 이루어 상대적 요인의 고려가 없음

2.1.2 크레인 안정성관련 연구

이동식 크레인의 관한 연구는 일반적인 재해사례를 통한 원인 분석, 아우트리거 설치 시 사고원인 분석 등의 안전성에 관한 연구와 이동식 크레인의 선정에 관한 연구가 진행되었다. 관련 연구 조사는 표 2와 같다.

표 2. 크레인 안전관련 연구조사

연구자	내용
김홍현 (2007)	크레인 관련 중대재해사례를 통해 재해 유형 및 원인을 분석
김홍현 (2007)	크레인 사고분석을 통하여 위험등급을 나누어 관리하는 방법 제시
이병구 (2002)	크레인 타입별로 공사초기 타워크레인의 계획 방법 제시

김홍현(2007)은 건축물의 대형화, 고층화로 인한 빈번한 장비 관련 재해의 원인을 조사하여 대처방안을 강구하고자 하였으며 크레인과 리프트 관련 재해발생형태를 분류하고 재해 원인을 분석하였다.

이후 연구에서 김홍현(2007)은 FMEA기법을 이용하여 크레인 관련 중대재해사례를 분석하여 양중단위별 위험등급을 산출한 결과 이동식 크레인인 타워 크레인의 재해 가능성이 높게 나타났다. 각각의 장비별로 작업에 따라 위험등급을 나누어 위험등급순위에 따라 안전관리가 가능하게 하였다.

이병구(2002)는 타워크레인의 종류별 타입별로 지지방법을 구조적으로 접근하여 개괄적으로 소개함으로써 공사초기 타워 크레인의 계획 시 참고자료로 제시하였다.

2.1.3 이동식 크레인 관련 연구

호종관(2007)은 국내 이동식 크레인의 수요증가 및 인양물의 무게 증가로 인한 위험성의 증대를 이야기하면서 기존 우리나라의 크레인 선정 및 운영이 경험의존에 의하여 이루어지는 것을 문제점으로 사용자의 양중 작업 신뢰성이 필요함을 이야기하였다. 이를 위하여 최적 장비 선정 및 운영안정성의 확보가 가능한 시뮬레이션을 제안하였다.

2.2 국외문헌 연구

국외 문헌은 크레인에 대한 다양한 연구가 이미 진행되었으며 국내와 다른 건설환경으로 인하여 이동식 크레인에 대한 연구도 활발하게 진행되었다.

2.2.1 타워크레인 선정관련 연구

Furusaka(1984)는 크레인의 최적 위치 선정과 선택을 위하여 수학적 기술을 통하여 건설현장에 적합한 타워 크레인 선정을 위한 과정을 나타내었다.

Gray(1985)는 논문에서 건설현장에 적합한 크레인 선정에 있어서 대수산정과 위치 타당성 검토를 연구하였다. 몇 대의 크레인이 필요한지, 어떤 형태의 크레인이 필요한지, 위치는 어디가 적합하며, 두 대를 중복하여 사용하는지 등의 경우를 플로우차트를 활용하여 도식하였다.

2.2.2 크레인 안전사고관련 연구

Shapiro(1988)는 연구논문에서 재난사고는 복잡한, 동적, 그리고 지속적으로 변화하는 공사에서 다양하게 발생한다고 하였다. 또한 크레인은 건설 산업에서 매우 중요한 요인이기도 하지만 건설 산업에서의 중대재해와도 연관이 있다고 기술하며 본 논문에서 크레인의 안전지식과 안전장치, 절차를 설명하였고 이를 기반으로 기술적이며 효과적인 건설공사를 시행을 주장하였다.

Leonard(1997)은 이동식 크레인의 하나인 트럭크레인의 사고 유형을 분석하며 크레인의 붓대 길이와 각도에 따라 양중 가능한 하중과 스트레스 등을 분석하여 크레인의 실시간 모니터링 시스템을 제안하여 사고의 예방 대책을 강구하였다.

Suruda(1997)는 논문에서 미국의 OSHA⁴⁾의 조사를 기반으로 하여 1984년부터 1994년까지의 10년간 크레인관련 재해를 리스트화 하여 조사하였으며 관련 사고의 원인을 총 18로 분류하여 조사하였다.

Tomas(2005)는 연구논문에서 이동식 크레인의 전도·전복 사고원인을 알아보고 그 대책 방안을 연구를 하였다. 크레인을 지면에 고정시킬 때 사용하는 아우트리거의 설치 방법 및 지면에 안정되게 설치하는 것을 통하여 이를 해결하고자 하였다.

2.2.3 이동식 크레인관련 연구

Aviad(1996)는 미국남서부 지역의 이동식 크레인의 사용유형을 인터뷰를 통하여 조사하였다. 조사결과 건설공사 착공시기, 23m이하의 층수가 낮은 건물에서 사용되었으며 공사장부지가 넓은 곳과 건설공사 시 철골의 조립 등 필요에 따라 사용을 하는 것으로 조사되었다.

Aviad(1999)는 건설공사에서 크레인을 선택하는 과정을 두 가지로 나누어 하나는 일반적인 크레인의 유형, 이동식, 타워를 결정짓는 것이고 다른 하나는 요구되는 크기와 기술적인 특정요인에 따라 결정짓는 방법이다. 본 논문에서는 이동식 크레인의 선정 요인을 정의하고, 분류하며 선정 시 영향 요소를 설명 하였다.

Al-Hussein(2005)는 논문에서 건설 현장에서의 이동식 크레인의 위치 선정에 관한 논문으로 인양물을 들어 올릴 수 있는 범위 안에서 최소 붓 길이와 최소 반격으로 작업 할 수 있는 방안을 연구하였다.

3. 이동식 크레인에 대한 고찰

3.1 크레인의 정의 및 종류

‘크레인’이라 함은 동력을 사용하여 중량물을 매달아 상하 및 좌우(수평 또는 선회를 말한다)로 운반하는 것을 목적으로 하는 기계 또는 기계장치를 말한다⁵⁾ 또는 건설기계관리법시행령⁶⁾을 보면 크레인을 “혹이나 기타의 달기기구를 사용하여 하물의 권

4) OSHA: Occupational Safety and Health Administration 《미》 직업 안전 위생 관리국

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

상과 이송을 목적으로 일정한 작업 공간 내에서 반복적인 동작이 이루어지는 기계”라고 정의하고 있다.

분류는 표 3과 같이 이동식크레인, 타워크레인(T형, 러핑형), 천장식 크레인으로 나누고 있다.

표 3. 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	
타워크레인	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	

3.2 이동식 크레인의 사고사례 및 원인 분석

3.2.1 이동식 크레인의 사고사례

한국산업안전공단의 크레인관련 재해사례통계(2007)조사 를 통해 122건에 관한 사고사례를 조사하였다. 이와 더불어 기존 연구(서종민 2007)를 바탕으로 연구를 진행하였다.

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

표 4. 크레인 종류별 재해건수 집계현황

구 분	이동식	고정식		천장
		타 워	러 핑	
사례건	79	32	2	9
합 계		122		

크레인 종류별 재해자수 집계현황을 보면 그림 2와 같이 이동식크레인에 의한 사망이 81명으로 전체사망자수의 63.28%를 차지했다.

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

추락⁷⁾이 25%, 낙하/비래⁸⁾가 29%로 가장 많은 비율을 차지했으며, 전도, 전복⁹⁾ 7.5%, 감전사고가 15%로 발생되었다.

7) 추락: 사람이 중력에 의하여 건축물, 구조물, 수목, 사다리 등의 높은 장소에서 떨어지는 것, (한국산업안전공단 2006)

8) 낙하, 비래: 구조물, 기계 등에 고정되어 있던물체가 중력, 원심력, 관성력 등에 의하여 고정부에서 이탈하거나 또는 설비 등으로부터 물질이 분출되어 사람에게 가해한 경우, (한국산업안전공단 2006)

9) 전도, 전복: 사람이 거의 평면 또는 경사면, 층계 등에서 구르거나 넘어짐 또는 미끄러진 경우와 물체가 전도, 전복된 경우, (한국산업안전공단 2006)

사망자(%)

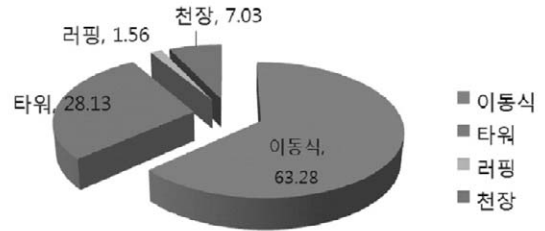


그림 2. 크레인 종류별 재해자수 집계현황

재해발생비율(%)

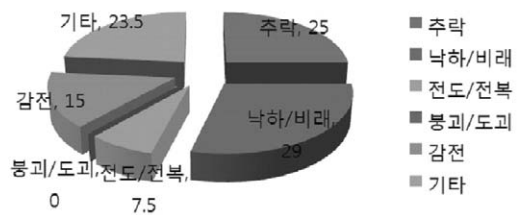


그림 3. 이동식 크레인 재해발생형태 집계

3.2.2 이동식 크레인 사고원인 분석

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

표 5. 크레인 사고원인

순 위	원 인	건 수	비 율 (%)
1	작업방법 불량	46	37.69
2	각종 방호장치 미흡	22	18.03
3	각종 기계장비 불량	13	10.66

이동식 크레인의 사고원인은 작업방법 불량(35%), 위험 방지 조치 미흡(15%), 감전 방지장치 미흡(11%), 각종 방호장치 미흡(8.8%), 관리감독 소홀(8.8%), 각종 기계장비 불량(7.5%), 출입

표 6. 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
7	출입금지조치 불량	4	5
8	전도방지장치 미흡	4	5
9	운전조작 불량	2	2.5

금지조치 불량(5%), 전도방지장치 미흡(5%), 운전조작 불량(2.5%), 기타(1.4%)로 조사되었다.

주요 사고원인은 작업방법 불량과 위험 방지조치 미흡으로 전체 원인 중 50%를 차지하였다.

이동식 크레인의 사고 중 슬링 및 리그관련 사고는 16건으로 전체 사고의 약 20%를 차지했다. 사고의 주요 원인으로서는 슬링의 주요 부재인 와이어로프의 파단과 사용 외 부재(섬유)로 사용하여 사고가 발생하였다. 또한 샤클이 리그에서 이탈되거나 리그가 부착되지 않은 운반장비를 사용하여 운반 중 이탈하여 발생한 사고였다.

4. 이동식 크레인 선정 및 안정성 검토

타워크레인과 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 담당자의 주관적인 경험에 의해 설치·운용된다.

이동식 크레인의 안정성 검토는 타워 크레인보다 달리 양중물의 형태, 슬링의 종류, 리그의 유형, 접지압 확보 유무 등 다양한 요인에 의해 평가된다. 이러한 주관적인 경험에 의한 장비의 선택으로 인하여 현장에서는 이동식 크레인 관련 안전사고가 빈번하게 일어나고 있다. 이에 객관적인 안정성 검토를 위한 연구가 필요하다.

본 연구의 안정성 검토 항목은 슬링 및 리그로 한정하였다.

4.1 이동식 크레인 슬링 선정 및 안정성 검토

이동식 크레인의 슬링은 중량물을 달아 올릴 때 크레인의 후크나 샤클¹⁰⁾에 걸기위한 부재로 웹과 와이어로프가 있다. 슬링의 선정 및 안정성 검토 과정은 다음 그림 4와 같다.

슬링의 유형과 취부를 선택하고 인양물의 중량 및 예외하중을 결정한다. 이후 슬링의 가닥 수를 선정하는 데 2가닥 이상일 경우 슬링의 각도도 결정해야 한다. 이후 슬링의 조건에 따른 높이와 저감계수를 입력 한 후 와이어 로프와 샤클을 선정하여 슬링의 선정을 마치고 안정성 검토를 실시한다.

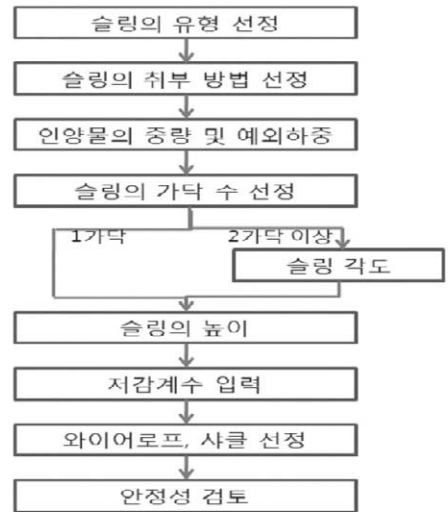


그림4. 슬링의 선정 및 안정성 검토

1) 슬링의 유형 및 취부의 선정

슬링의 유형 및 취부를 선정한다. 슬링은 와이어로프와 웹의 두 가지 형태가 있으며 와이어로프는 싱글로프(single rope)와 앤드리스 로프(endless rope)로 나뉘며 웹은 아이투아이 더블(eye to eye double ply)슬링과 앤드리스 싱글(endless single ply)슬링으로 나뉜다.



그림 5. 슬링 유형에 따른 슬링 취부의 종류

2) 인양물의 하중 및 예외하중 선정

인양물의 하중은 인양물 중량과 인양물 중량에 따른 예외하중, 설계하중(인양물의 최대하중)은 다음과 같은 식에 의하여 선정된다.

$$P = w + (w \times w_E) \quad (kN)$$

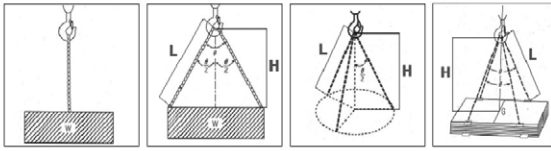
w : 인양물 중량, w_E : 예외 하중

10) 샤클은 와이어로프, 체인 등과 연결하여 들거나 고정시키는데 사용하며 종류는 스크류 핀 샤클, 볼트 타입 샤클, 체인 샤클이 있다.

스크류 핀 샤클은 주로 반영구적인 곳에 사용하고, 볼트 타입 샤클은 가급적 장기적 혹은 영구적인 용도에 사용 또는 하중이 걸려 있는 동안 샤클의 핀이 회전 또는 움직이는 환경에 적용된다. 체인 샤클은 주로 하나의 레그에 사용하고, 양가 샤클은 여러개의 레그에 사용된다.

3) 슬링의 각도 산정

슬링이 2가닥 이상인 경우 슬링의 각도를 산정한다.



(1) 1줄사용 시 $\theta=0^\circ$ (2) 2줄사용 시 $\theta=\theta$
 (3) 3줄사용 시 $\theta=\theta \times 2$ (4) 4줄사용 시 $\theta=\theta$

그림 6. 슬링의 각도 산정

4)저감계수의 산정

슬링의 저감계수는 슬링의 꼬임, 체결방법, 부속철물에 의한 절곡, 슬링의 유형에 따라 설계 강도보다 실제의 사용강도가 적게 나타날 것을 감안한다.

저감계수(α_1)는 꼬임(α_2), 체결방법(α_3), 부속철물에 의한 절곡(α_4)에 따라 결정되며 저감계수(ω)는 이 중 가장 작은 값을 적용한다.

슬링의 계산식은 슬링의 높이를 슬링의 길이 값으로 나눈 값이다.

$$\alpha_1 = \frac{H}{L}$$

슬링의 높이(m), : 슬링의 길이(m)

(1) 꼬임에 의한 저감 계수

슬링의 꼬임에 의한 저감계수는 슬링이 꼬인 것을 그대로 사용할 때와 슬링이 꼬인 것을 다시 펴서 사용할 때 각각 다르며 그 내용은 다음 표 7과 같다.

표 7. 꼬임에 의한 저감 계수

구분		저감 계수
α	꼬임(Kink)된 상태로 그대로 사용할 경우	0.5
	꼬임(Kink)된 것을 다시 펴서 사용할 경우	0.8

(2) 체결 방법에 의한 저감 계수

슬링의 저감계수는 체결 방법에 따라 달라지는데 결박법을 사용하였을 때 저감계수는 0.5로 가장 많이 강도가 저감되며 합금 소켓 조임법이나 SG CLAMP법을 사용할 경우 강도는 저감되

표 8. 체결 방법에 의한 저감 계수

α	체결방법	저감 계수	체결방법	저감 계수
	결박법	0.5	LONG SPLICE법	0.9~0.95
α	COTTER PIN 조임법	0.6~0.8	EYE CLAMP법	0.95~1.0
	CLIP 조임법	0.8	M형 소켓조임법	0.95~1.0
	EYE SPLICE법	0.7~0.9	합금 소켓 조임법	1.0
	SHORT SPLICE법	0.7~0.9	SG CLAMP법	1.0

지 않고 유지됨을 알 수 있다. 그 내용은 표 8과 같다.

(3) 부속 철물에 의한 절곡에 의한 저감 계수

부속철물에 의하여 절곡된 슬링의 직경에 따라 저감계수가 결정된다. 절곡된 직경이 작을수록 저감계수가 작아 슬링의 강도가 되는 것을 알 수 있다. 부속철물에 의한 절곡에 의한 저감계수는 다음 표 9와 같다.

표 9. 부속 철물에 의한 절곡에 의한 저감계수

α	부속철물에 의한 절곡 직경	저감 계수
	와이어 로프 직경의 1배	0.5
α	와이어 로프 직경의 2배	0.65
	와이어 로프 직경의 3배	0.75
	와이어 로프 직경의 6배	0.79

부속철물의 그림 7의 직경(D)과 와이어 로프의 직경(d)에 의해 저감계수가 결정된다.

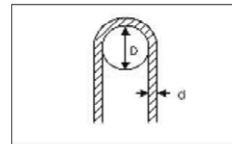


그림 7. 부속철물과 와이어 로프 직경

5) 환산 계수(k) 산정

(1) 슬링이 웹(Web)인 경우 환산계수(k)는 1이다.

$$k = 1$$

(2) 슬링이 와이어로프(Wire Rope)인 경우 취부 유형에 따라 환산계수(k)는 다음과 같이 산정된다.

6) 안전하중과 실 하중 계산을 통한 안정성 검토

안전 하중은 로프의 절단하중과 저감계수, 슬링의 유형에 따라 달라지는 환산계수의 곱을 안전율로 나눈 값이며 다음식과 같이 계산된다.

표 10. 취부와 그에 따른 환산 계수

k	취부방법	환산계수	취부방법	환산계수
	k		1	
		0.75/1.5		1.42/2.1
		2/3		1/1.15

$$T_s = \frac{F_u \times \alpha \times k}{\phi} \quad (\text{kN})$$

T_s : 안전하중 (kN), F_u : 로프 절단하중(kN),
 α : 저감계수
 k : 환산 계수, ϕ : 안전율

또한 실제 슬링에 작용하는 장력은 장비 설계하중, 로프의 개수, 슬링의 각도에 의해 계산되며 그 계산 공식은 다음과 같다.

$$T = \frac{P}{n \times \cos(\theta/2)} \quad (\text{N})$$

T : 실제 장력(N), P : 설계 하중(kN),
 n : 로프갯수, θ : 슬링 각도

위의 식을 통하여 계산된 실제장력 T 가 안전하중인 T_s 보다 작을 경우 슬링의 설계가 안정하다.

$$T_s > T$$

7) 슬링의 안정성 검토 사례

슬링의 안정성 검토식의 실무적 이해를 위해 적용사례를 검토하고자한다.

슬링의 유형 및 취부의 선정은 다음과 같이 실시하였다. 슬링의 유형을 와이어로프로 설정하고 슬링의 취부는 straight로 선정한다.

이 경우 인양물의 하중과 예외 하중을 이용한 설계하중의 산정은 다음과 같이 이루어진다.

인양물의 하중 (w) : 100 kN, 예외하중 factor(w_E) : 10% 다음과 같은 조건에 의하여 설계하중 P 를 산정하면

$$P = w + (w \times w_E) = 100 + 100 \times 0.1 = 110 \text{ kN} \text{으로 산정된다.}$$

다음으로 슬링의 각도 산정은 슬링의 가닥수는 1가닥이므로 슬링의 각도는 0이다.

슬링의 저감계수의 산정은 다음 4가지 중 가장 작은 값으로 산정하였다.

$$\alpha_1 = \frac{H}{L} = \text{없음}$$

꼬임에 의한 계수 α_2 : 꼬인 것을 다시 사용하는 경우 = 0.5
 체결방법에 의한 저감계수 α_3 : Clip조임법 = 0.8 부속철물에 의한 저감계수 α_4 : 와이어 로프직경의 2배 = 0.65
 저감계수 중 가장 작은 값인 0.5를 저감계수 함.

슬링의 유형을 와이어로프, 취부를 straight를 정하였으므로 환산 계수(k)는 1이 된다.

위의 과정을 통하여 얻어진 값을 통하여 안전하중과 실 하중 계산을 통한 안정성 검토를 실시한다.

로프의 절단하중 F_u 는 로프의 재료의 성질이므로 로프의 선정 을 통하여 정해진다.

본 예시에서는 6×Fi(25) IWRC(KS 14호)의 50mm 지름의 AG 종 로프를 선정하며 이의 절단하중 $F_u = 1400.0$ (kN) 이며 안전율은 6 이다.

$$T_s = \frac{F_u \times \alpha \times k}{\phi} = 116.7 \text{ kN}$$

실제하중 T 는 양중물의 하중인 110 kN 이다.

116.7 kN > 110 kN 따라서 안전하게 설계되었음을 알 수 있다.

4.2 이동식 크레인 러그 선정 및 안정성 검토

러그는 중량물을 달아 올릴 때 크레인의 후크나 샤클을 걸기위한 구멍 뚫린 부재로 주로 용접하여 부착하여 장비를 사용한다.

러그의 안정성 검토를 위하여 러그의 치수 재질을 선정후 용접유형을 선정·검토하여 러그의 안정성 검토를 한다.

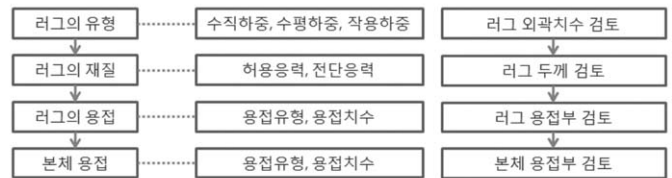


그림 8. 러그의 선정 및 안정성 검토

러그의 선정 시 러그의 유형을 선택하고 러그 1개소 당 작용하는 수직하중(P_v), 수평하중(P_h), 작용하중(P)를 표시한다. 그 후 러그 재질에 따라 허용응력 및 전단 응력을 표시하고 러그 및 본체의 용접 유형 및 용접 치수를 입력하여 러그를 선정한다. 러그의 안정성 검토 순서는 그림 8의 순서와 같다.

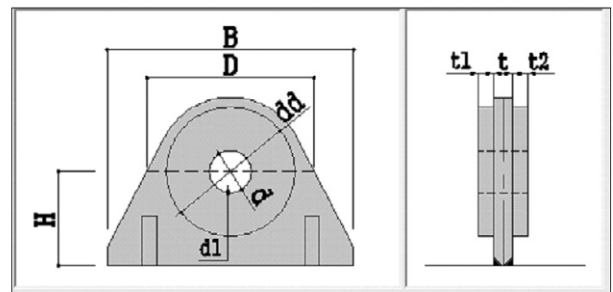


그림 9. 러그의 치수

그림 9는 러그의 각 부분의 치수를 나타낸 그림이다. 이를 통하여 력의 하중 및 치수의 계산을 통하여 러그를 선정하게 된다. 표 11은 그림 11 항목의 내용이다.

표 11. 리그의 각 항목과 내용

항목	내용	항목	내용	항목	내용
B	리그 폭	H	리그 중심높이	t	리그 두께
D	리그 중심폭	dd	더블플레이트(doubler pl dia) 지름	t1	보강링 두께
d	구멍(hole) 사이즈	d1	핀(pin) 지름	Pl	로드플레이트 (Load Plate) 두께

1) 리그 1개소당 작용하는 수직하중(Ph), 수평하중(Pv), 작용하중(P)을 산정한다. 리그 1개소 당 작용하중 중 수직하중(Ph)는 이동식 크레인이 인양해야 할 인양하중을 로프의 가닥수로 나누어 계산하며 다음 식과 같다.

$$\text{수직하중 } P_v = \frac{V}{n} \quad (\text{kN})$$

V : 인양하중 (kN), n : 로프 가닥 수

수직하중이 계산되면 슬링의 각도와 수직하중을 이용하여 수평하중(Pv) 및 작용하중(P)을 산정하며 그 계산식은 아래와 같다.

$$\text{수평하중 } P_h = \frac{P_v}{\tan \theta} \quad (\text{kN})$$

$$\text{작용하중 } P = \frac{P_v}{\sin \theta} \quad (\text{kN})$$

$$\theta = 180 - (\text{슬링 각도}/2+90)$$

2) 외곽 치수 검토

리그의 선정을 위하여 리그의 외곽치수를 검토한다. 리그 외곽치수는 리그의 중심높이, 리그 중심폭, 리그 폭에 대하여 검토하며 외곽치수는 다음과 같은 수식을 만족해야 한다. 리그의 중심높이 H의 두 배한 값과 리그의 중심 폭의 $\sqrt{2}$ 한 값의 합은 리그의 폭 B보다 크고 이는 리그의 중심 폭 D값 보다 커야 한다.

$$2 \times H + \sqrt{2} \times D \geq B \geq D \quad (\text{mm})$$

$$H \geq D/2$$

B : 리그 폭(mm), D : 리그 중심폭(mm),

H : 리그 중심높이(mm)

3) 리그의 두께 검토

리그의 두께 검토는 핀홀의 응력(ta), 단부의 파열(tb), 핀홀 파단(tc), 기저부 파단(td)을 검토한다.

• 핀홀의 응력 (N/mm²) :

$$t_a = \frac{2P(d - d_1)}{K_2 d d_1} \leq t + t_1 \times 2, \quad K_2 : 196$$

• 단부파열 (mm) :

$$t_b = \frac{P}{2b\tau_a} \leq t + t_1 \times 2, \quad b = \frac{D - d}{2}$$

• 핀홀파단 (mm) :

$$t_c = \frac{3P}{2b\sigma_a} \leq t + t_1 \times 2$$

• 기저부파단 (mm) :

$$t_d = \frac{P}{B\sigma_a} \left(\sin \theta + \frac{6 \cos \theta \times h}{B} \right) \leq t + t_1 \times 2$$

P : 작용하중 (kN) B : 리그 폭 (mm)

D : 리그 중심폭 (mm) d : 홀의 사이즈 (mm)

d1 : 핀홀의 지름 (mm) σ_a : 부재 허용응력 (N/mm²)

τ_a : 부재 전단응력 (N/mm²) t : 리그 두께 (mm)

t1 : 보강링 두께 (mm)

4) 리그 용접부 검토

리그는 본체에 용접하여 사용하므로 용접부에 대한 검토가 필요하다. 리그의 용접은 K형 용접과 필렛용접으로 나뉘어진다. 용접부의 안정성 검토는 휨응력 검토, 전단응력 검토, 합성응력을 검토한다. 검토한 각각의 항목이 부재의 허용 휨응력, 허용 전단응력, 허용 합성응력보다 클 경우 안정성이 확보된다.

5) 본체 용접부 검토

본체의 용접부 검토는 리그의 용접부 검토와 같은 방식으로 이루어진다. 부재의 휨응력, 전단응력, 합성응력이 설계 하중보다 클 경우 안정성이 확보된다.

6) 예시를 이용한 리그의 안정성 검토

리그 1개소로 재질은 SS330이며 인양하중은 50kN이다. 리그 1개소당 작용하는 수직하중, 수평하중, 작용하중을 구하고 리그의 외곽치수 및 두께를 검토하였다.

리그폭 B: 400(mm), 리그 중심폭 D: 220(mm), 리그 중심높이 H: 110(mm), 홀의 사이즈 d: 75(mm), 핀홀의 지름 d1: 70(mm), 부재의 허용응력 σ_a : 19N/mm², 부재 전단응력 τ_a : 11N/mm², 보강링 두께 t1: 22(mm), 로프가닥 수 n : 2, 슬링 각도: 60도

이 경우 리그 1개소 당 작용하는 수직하중은 다음과 같이 구하여진다.

$$\text{수직하중 } P_v = \frac{V}{n} \quad (\text{kN}) = 5/2 = 25 \quad (\text{kN})$$

$$\text{수평하중 } Ph = \frac{Pv}{\tan \Theta} = 25/\tan(180-(60/2+90))$$

$$=14.4 \text{ (kN)}$$

$$\text{작용하중 } P = \frac{Pv}{\sin \Theta} = 25/\sin(180-(60/2+90))$$

$$=28.8 \text{ (kN)}$$

인양 하중 50kN에 의하여 구하여진 수직하중, 수평하중 및 작용하중은 각각 25kN, 14.4kN, 28.8kN으로 구하여 진다.

다음으로 리그의 외곽치수 검토하는 과정이다. 리그의 외곽치수는 다음 식에 의하여 산정된다.

$$2 \times H + \sqrt{2} \times D \geq B \geq D \text{ (mm)}$$

$$H \geq D/2$$

$$2 \times 110 + \sqrt{2} \times 220 \geq 400 \geq 220$$

외곽치수 검토에서 리그 높이는 리그 폭 400보다 크고 이는 리그의 중심 폭 220보다 커서 만족한다.

리그의 두께(mm)검토는 핀홀의 응력, 단부파열, 핀홀파단, 기저부 파단에 대하여 검토를 실시하여야 한다.

(1) 핀홀의 응력:

$$2 \times 2.3 \times (75-70) / 196 \times 75 \times 70 \leq 26 + 22 \times 2$$

$$2.23 \times 10^{-4} \leq 7$$

(2) 단부 파열:

$$2.3 / 2 \times 7.25 \times 11 \leq 7$$

$$1.44 \times 10^{-2} \leq 7$$

(3) 핀홀 파단:

$$3 \times 2.3 / 2 \times 7.25 \times 19 \leq 7$$

$$2.5 \times 10^{-2} \leq 7$$

(4) 기저부 파단:

$$2.3 / 40 \times 19(\sin 60 + (6\cos 60 \times 11/40)) \leq 7$$

$$5.1 \times 10^{-3} \leq 7$$

각각의 값이 모두 안정함을 알 수 있다.

5. 결론

최근 경제개발 및 산업발전에 힘입어 고층빌딩 신축 및 공장 건설 등으로 건설장비 이동식 크레인의 사용이 증가하고 있다. 이 뿐 아니라 건축공사의 규모가 대형화, 고층화, 복합화 됨에 따라 장비의 사용이 증가하고 따라서 장비의 선정 및 운용은 건설 프로젝트의 중요한 관리 요인이다. 이동식 크레인의 경우 크레인 관련사고 중 64%가 일어나고 있어 여러 가지 장비관리 요인 중 안전에 관한 관리요소가 매우 중요한 장비 중 하나이다.

이동식 크레인의 등록 대수가 증가하고 또한 장비의 규모 또한 증가하고 있지만 장비의 선정 및 운용의 많은 부분을 아직 경험에 의존하여 선정, 작업하는 사례가 빈번하다. 또한 이러한 크레인의 사고는 인명사고 등 중대사고로 이어지고 있는 실정이다. 본 연구는 다음의 과정에 의해 진행되었다.

예비적 고찰에서 국내의 문헌을 타워크레인의 선정관련 문헌, 안전관련 문헌, 이동식크레인 관련 문헌으로 구분하여 관련연구 동향을 파악하였다.

또한 크레인의 정의·종류·사고사례를 분석하였고, 크레인 관련 재해 중 약 64%는 이동식 크레인과 관련하여 발생한 사고였다. 또한 이동식 크레인 사고 중 슬링 및 리그 관련 사고는 16건으로 전체 사고의 약 20%를 차지하였다. 사고의 주요원인으로는 와이어로프 파단과 샤키의 리그 이탈이었다.

이를 기반으로 크레인의 안정성을 위하여 슬링 및 리그선정 및 안정성을 검토하였다. 슬링은 안정성 검토 플로우 차트를 기반으로 유형설정, 슬링의 취부방법 선정, 인양물 중량 및 예외하중, 슬링의 가닥 수 선정, 슬링각도, 높이, 저감계수, 와이어로프 및 샤키 선정 과정을 거쳐 안정성을 검토하였다. 그리고 슬링의 안정성을 계산식으로 검토하였다. 안정성 검토는 실무적인 이해를 위해 적용 사례를 선정하여 검토하였다. 슬링의 유형은 와이어로프로 하고 슬링의 취부는 straight로 선정하였다. 인양물의 하중(100kN), 예외하중(10%)를 선정하여 안정성 검토를 실시하였다. 위의 과정을 통해 얻어진 값을 통하여 안전하중과 실 하중을 계산하고 안정성을 검토하였다.

이동식 크레인의 리그 선정 및 안정성 검토는 플로우 차트를 제시하고 그 순서에 맞추어 리그의 외곽치수 검토, 리그 두께 검토, 리그 용접부 검토, 본체 용접부 검토를 제시하고 슬링의 방법과 동일하게 예시를 통해 적용사례를 검토하였다. 리그는 1개 소로 재질은 SS330으로 하고 리그 폭, 허용응력 및 전단응력을 선정하여 리그의 안정성을 검토하였다. 본 연구는 리그 및 슬링에 대하여 객관적인 선정 및 검토를 실시하였다. 차후 이동식 크레인의 사면보강, 평지보강, 접지압, 지내력보강 등에 관한 폭넓은 연구 진행이 요구된다. 이 연구결과는 이동식 크레인의 효율적인 선정과 작업안정성 확보에 큰 기대효과를 가질 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, 기술논문발표대회 논문집, 제7권 제1호, 한국건축시공학회, p.p. 109~112, 2007
3. 김홍현, 이강, FEMA기법을 활용한 크레인 관련 중대재해의 정량적 분석에 관한 연구, 한국건축시공학회 논문집, 통권25호, 한국건축시공학회, p.p.115~122, 2007
 4. 김훈, 고층 건축공사의 리프트 선정 의사결정 모델에 대한 연구, 한양대학교 석사논문, 2000
 5. 이명구, 노민래, 기초앵커 불량시공에 따른 타워크레인 사고의 원인분석, 한국산업안전학회 추계학술발표회 논문집, 한국산업안전학회, p.p.411~416, 2000
 6. 이병구, 설종협, 타워크레인 설치계획 및 구조보강 방법 소개, 건설기술, 쌍용 여름호, 제23권, p.p.32~37, 2002
 7. 이삼석, 고층 건축공사의 타워크레인 계획 Process에 관한 연구, 경희대학교 석사논문, 2006
 8. 한국산업안전공단, KOSHA CODE G-8. 산업재해 기록. 분류에 관한 지침. p.p.23~27. <http://www.kosha.or.kr>, 2007
 9. 허담, 이덕찬, 손창백, 신현식, 고층 건축공사의 양중계획 최적화 방안에 관한 연구(1), 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), 제14권 제2호, 대한건축학회, p.p. 779~784, 1994
 10. 호종관, 이동식크레인 선정과 안정성검토 시뮬레이션 프로그램 개발. 건축, 제51권 제1호, 대한건축학회, p.p.91~9, 2007
 11. 호종관, 국동훈, 김선국, 건설현장의 조건을 고려한 최적 타워크레인 선정시스템, 한국건설관리학회 논문집, 제8권 제6호, p.p. 216~226, 2007
 12. 호종관, 서종민, 김선국, 이동식 크레인 접지설계 시스템, 한국생태환경건축학회 논문집, 제7권 제6호, p.p.83~90, 2007
 13. 대성건설주식회사, 항타기의 전도방지지침
 14. 삼성건설, OptiCRANE-MC(모바일크레인 안정성 검토 프로그램)사용자 설명서
 15. 강구조가설설계지침, 토목학회편
 16. 강도로교시공편람, 일본도로협회
 17. 가설구조물의 해설, 가설문화사
 18. 삼성건설, 핵심구조상식(1999 ~2004)
 19. 사단법인 일본건설기계화 협회, 이동식 크레인, 항타기 등의 지지반 양생 매뉴얼, 2000
 20. DSR Sling Hand Book, DSR 주식회사
 21. DSR Wire Rope Hand Book, DSR 주식회사
 22. 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
 23. 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
 24. Leonard E. Bernold, Steven J. Lorenc, Erik Luces, Intelligent Technology for Truck Crane Accident Prevention, J. of Construction Engineering and Management, V.123 N.3, ASCE, p.p. 278~284, 1997
 25. 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
 26. 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
 27. Akintola Omigbodun, Value Engineering And Optimal Building Projects, Journal Of Architectural Engineering, Vol. 7, No. 2, 2001
 28. Angela Palmer, John Kelly, and Steven Male, Holistic Appraisal of Value Engineering in Construction in United States, J. Constr. Engrg. and Mgmt. 122, 324~328, 1996
 29. Hyundai E&C, Value Engineering Study Report, 2000
 30. J.J O'Brien, Value Analysis in Design Consturction, 1996
 31. Maral Papazian Bedian, Value Engineering and its Rewards, Leadership and Management in Engineering, Vol. 2, No. 2, 2002
 32. Matthew J. Liberatore, Bruce Pollack-Johnson, and Colleen A. Smith, Project Management in Construction: Software Use and Research Directions, J. Constr. Engrg. and Mgmt. 127, 101~107, 2001

논문제출일: 2008.01.31
 심사완료일: 2008.06.10

Abstract

As buildings become larger, higher and more complex in most construction sites, construction projects have to deal with transportation of more materials, labor and equipment, necessitating more use of construction equipment. Notably, in the high-rise building and plant construction projects mobile cranes are adopted more frequently among different types of construction machinery, which also results in serious industrial accidents relating to the use of crane. To reduce serious industrial accidents involving cranes, researches on its stability is in need. The research herein aims to study how to select sling and lug of mobile crane and review its stability. The research outcomes herein will make considerable contributions to selecting mobile cranes efficiently and ensuring their stability.

Keywords : Mobile Crane, Construction Equipment, Stability, Sling, Lug