타워크레인 로프가잉 안정성 검토에 관한 연구

A Study on the Stability of Rope Guying of Tower Cranes.

이원석* **호종관**** **김선국*****
Lee, Won-Suk Ho, Jong-Kwan Kim, Sun-Kuk

Abstract

With the increasing use of tower cranes higher than free standing height, the importance of lateral support is also growing. Since the fall of 43 tower cranes hit by the last typhoon 'Mami' in 2003, regulations and concerns about safety of construction equipment have increased and construction laws regarding lateral support have been strengthened. In Korea, where there are many large-scale apartment housing construction works with the development of new towns, Rope Guying is a more economical construction method than Wall Brace which fixes building structure like building wall and slab. The safety of this Rope Guying is not verified and many construction works are still carried out based on the experience of site managers. There has been no case of construction work where frame and measurements are applied.

The objective of this study is to examine the safety of Rope Guying method and ensure the effective implementation of equipment and prevention of disasters.

키 워 드 : 횡지지, 로프가잉, 안정성
Keywords : Lateral-Support, Rope Guiyng, Stability

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 세계 각지에서 수많은 초고층 건설 프로젝트가 계획 또는 진행 중에 있다. 뿐만 아니라 우리나라에서는 정부의 신도시 개발에 따른 대규모 아파트 단지 건설과 사회 기반시설 확충 등으로 건설현장이 대형화, 고층화 되면서 타워 크레인의 중요성이 커지고 있다.

타워크레인은 도입 초기에 자립고(Free standing height) 이하의 저층 건물에 주로 사용되었으나 최근 초고층 건축시장의 확대 그리고 건설현장의 대형화 추세에 따라 장비의 사용대수가 증가하였고, 규모 또한 커졌다. 그러나 이러한 양적 팽창에 비해, 타워크레인은 지난 2003년 태풍 '매미' 의 영향으로 국내에서 43대의 장비가 전도 및 붕괴되는 사고가 발생하였으며 2006년 한해에도 약 6건의 사고가 발생하는 등 질적인 기술수준은 미약하다.

따라서 타워크레인의 구조적 안정성을 확보하는 것이 무엇보다 중요한 과제로 대두되고 있다.

로프가잉은 자립고를 넘는 타워크레인의 안정성을 확보하기 위한 횡지지 방식 중 하나로, 건물의 벽체나 슬라브 등 구조체에 지지하는 벽제지지 방식과는 달리 대규모 아파트 단지 건설 등의 공사에 유용하고 경제적으로 사용될 수 있다. 최근 타워크레인 횡지지에 대한 구조안정성 검토를 의무화 하는 등 정부의 법적 규제가 강화되었으나 로프가잉에 대해서는 아직까지 많은 부분을 현장 관리자의 경험과 장비임대업자의 권고에 따라 시공하고 있으며 로프의 Pretension적용이나 계측 사례는 아직까지 없다. 따라서 타워크레인의 전도 및 붕괴사고를 방지하기 위해 자립고를 넘는 장비의 횡지지 안정성에 대한 연구가 필요하다. 그러나 기존 연구를 살펴보면 타워크레인의 선정 관련 연구(김훈, 2000), 타워 크레인 설치 계획 및 구조보강 방법에 관한 연구(이병구, 2002), 이동식 크레인의 안정성 검토(김선국, 2008), 상승식 타워크레인의 안정성 검토(호종관, 2008) 등으로 편중되어 있으며, 월타이 부재력 특성에 관한 연구(고광일, 2006)등 횡지지 방식 중 벽체지지 방식에 관한 연구는 진행 중이나 로프가잉의 안정성 검토에 관한 연구는 아직까지 부족한 실정이다.

본 연구의 목적은 타워크레인 횡지지 방식 중 하나인 로프가잉의 안정성을 검토하는 것이다. 안정성을 검토하기 위한 방법으로 로프가잉의 평면설계, 부재선택, 고정지점에 대한 검토의 과정을 거쳐 안정성 결과를 확인한다.

이는 향후 타워크레인 장비의 적절한 사용 뿐 아니라 구조적 안정성 확보를 통해 관련 재해 예방과 운영업무를 효율적으로 증진시킬 것이다.

* 일반회원, 경희대학교 건축공학과 석사과정
** 일반회원, 삼성물산 건설부문 기술본부TA팀 장비전문위원
*** 종신회원, 경희대학교 건축공학과 정교수

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 횡지지가 필요한 자립고 이상의 타워크레인 중 로프가잉을 적용할 수 있는 장비를 대상으로 한다.

즉, 〈그림1〉과 같이 지브형태에 관계없이 트롤리 형, 러핑 형 모두 대상으로 하며, 국내 대규모 아파트 현장에서 로프가잉 적용 사례가 많은 고정식 타워 크레인의 로프가잉 적용 사례에 대하여 연구를 진행한다.

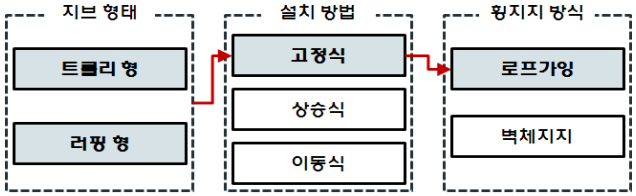


그림 1. 연구의 범위

연구 방법은 〈그림 2〉와 같이 먼저 국내외 타워크레인 안정성 관련 문헌 분석을 통하여 연구의 필요성에 대해 언급한다. 또한 타워크레인 횡지지의 개념에 대해 살펴보고, 로프가잉 방식의 개념과 벽체지지 방식과 비교한 장, 단점 및 필요성에 대해 분석한다. 그리고 로프가잉 안정성 검토 과정을 통해 로프가잉의 평면 및 부재 검토, 고정 지점 검토를 각각 수행하여 최종적으로 타워크레인의 횡지지 안정성을 확보한다.

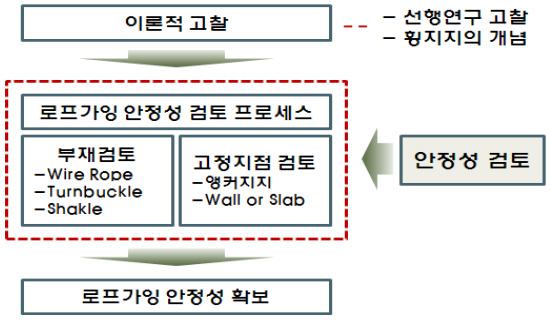


그림 2. 연구 절차

2. 이론적 고찰

2.1 선행 연구 현황

기존 연구를 살펴보면 타워크레인에 관한 연구로 이동식, 상승식 크레인의 안정성 검토에 관한 연구, 횡지지방식 중 벽체지지 방식의 부재력 특성에 관한 연구 등이 수행되었다.

이명구(2000)은 타워크레인 사고사례 중 기초앵커 설치 오류로 인한 재해를 구조적 해석을 통해 객관적으로 설명하였으며, 이병구(2002)는 타워크레인의 종류별로 지지방법을 구조적으로 접근하여 소개하였다. 안정성에 관한 연구로 김선국(2008)은 이동식 크레인의 안정성을 확보하기 위해 슬링 및 러그 선정, 안정성을 검토하였으며, 호종관(2008)은 상승식 타워크레인의 선정 및 안정성 확보를 위해 지지 구조물 및 고정부의 안정성 검토를 위한 모델을 제안하였다. 횡지지에 관한 연구로 고광일(2006)은 횡지지 방식 중 하나인 월타이의 조건에 따른 부재력 변화 분석을 통해 실용적이고 안전한 월타이 시공조건을 제안 하였다.

기존 연구를 살펴보면 횡지지 방식 중 로프가잉의 안정성에 관한 연구는 아직까지 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 타워크레인의 구조적 안정성을 확보하기 위해 횡지지 방식 중 로프가잉에 대하여 연구를 진행한다.

2.2 횡지지의 개념

타워크레인을 제조사가 제시한 자립고 이상으로 설치하여 사용하는 경우에 타워크레인의 지지 · 고정방식은 현장 조건에 따라 다음 〈그림3〉과 같이 2가지 방식으로 분류한다.

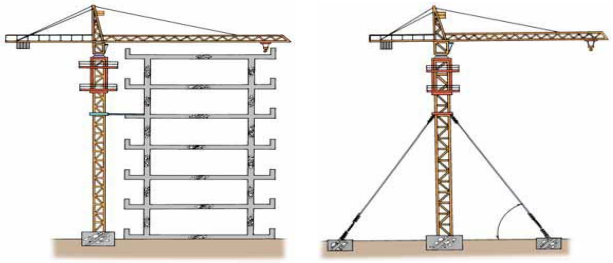


그림 3. 벽체지지 방식과 로프가잉 방식

벽체지지 방식은 타워크레인의 마스트를 건축물의 벽체에 견고하게 지지 · 고정하는 방식을 말한다. 주로 도심지역의 초고층 건설현장에서 건물 벽체에 지지프레임 등의 부재를 통해 고정하며, 건물과의 이격거리가 크지 않아 작업이 용이하다. 그러나 작업반경이 작아 장비 사용 효율이 낮기 때문에 추가적인 장비의 설치를 고려해야하는 단점이 있다.

로프가잉 방식은 타워크레인 설치장소의 주변에 적당한 지지물이 없거나 고심도의 지하층 바닥에 타워크레인을 설치하는 경우에 사용한다. 대단위 아파트 단지 조성이 많은 우리나라에서 한 대의 장비로 여러 동을 커버 할 수 있기 때문에 장비의 효율이 높지만, 로프가잉 시공에 어려움이 있으며 정확한 계측 및 부재의 구조검토에 관한 정확한 기준이 없기 때문에 안정성 측면에서 문제가 있다.

벽체지지 방식과 로프가잉 방식의 장 · 단점은 〈표 1〉과 같다.

표 1. 벽체지지 방식과 로프가잉 방식의 장·단점

구분		벽체지지(Wall Bracing)방식	로프가잉(Rope Guying)방식
설치방법		건물 벽체에 지지프레임 및 간격지지대 사용 고정	와이어로프로 콘크리트
장·단점	장점	건물벽체에 고정하며 작업이 용이	동시에 여러 장소에서 작업이 가능하여 장비 사용효율이 높음
	단점	작업반경이 작아 장비 사용효율이 낮음	벽체고정에 비하여 작업이 어려움
현황		도심지역의 대형 빌딩신축	대단위 아파트 건설현장

〈그림 4〉는 아파트 현장에 벽체지지와 로프가잉 방식의 타워크레인을 설치하였을 때 장비의 작업 반경을 나타낸 그림이다.

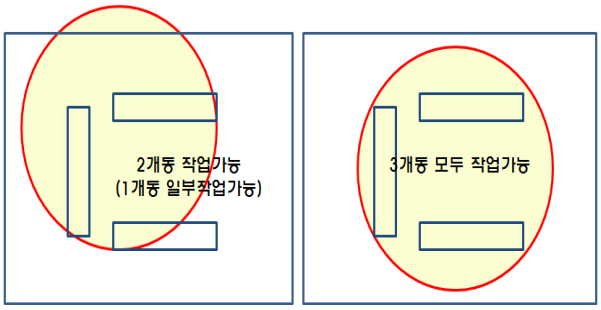


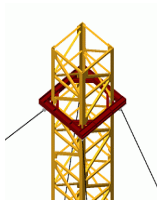
그림 4. 타워 크레인의 작업반경

벽체지지를 적용하였을 경우, 현장 밖으로 장비침범이 발생하므로 인근지역의 민원발생이 예상되며 또한 일부 현장은 장비의 반경에서 벗어나 작업이 불가하므로 추가적인 타워 크레인 설치를 고려해야 한다. 이 경우 타워크레인의 상호 간섭으로 높낮이 조절, 충돌방지장치 및 현장 공정계획의 검토가 필요하다. 반면, 로프가잉을 사용하였을 경우 1대의 장비로 작업이 가능하므로 추가적인 장비의 설치를 고려할 필요가 없으므로 임대가격이 높은 장비의 대수를 줄여 원가를 절감할 수 있을 뿐 아니라 인근지역의 침범 또한 발생하지 않는다. 따라서 철저한 공사계획에 따라 양중부하를 결정하고 이에 적합한 타워 크레인을 선정한 후 현장 조건에 적합한 지지방식 선택을 통해 안정성 확보와 원가절감의 효과를 얻을 수 있다.

2.3 로프가잉의 개념

로프가잉은 아래 〈표 2〉와 같이 크게 고정지점, 와이어로프 그리고 와이어로프 지지, 고정 프레임의 세가지 부재로 해석할 수 있다. 고정지점은 와이어로프를 지면에 콘크리트 블록을 통해 지지하거나, 인접건물 벽체 혹은 슬래브에 설치하며 와이어로프의 인장력을 견딜 수 있는 강도를 가져야 한다. 와이어로프는 두께가 두꺼울수록 허용하중이 크지만, 중량으로 인한 처짐이 발생하고 작업이 곤란하므로 적절한 부재선택이 필요하다. 또한 와이어로프는 마스트에 직접 감아서 샤클로 채워주는 형태의 지지, 고정이 되지 않도록 반드시 와이어로프 지지, 고정 프레임을 사용해야 한다.

표 2. 로프가잉 적용 부재

고정지점	와이어로프	와이어로프 지지, 고정 프레임
		

로프가잉은 지지 형태에 따라 1단 지지와 다단 지지로 구분할 수 있다. 1단 지지는 〈그림 5〉와 같이 타워크레인에 설치된 1개의 와이어로프 지지, 고정 프레임에 로프를 설치한 것으로 모든 로프가 타워크레인의 같은 높이에 설치된다. 반면, 다단 지지는 〈그림 5〉와 같이 타워 크레인에 2개 이상의 와이어로프 지지, 고정 프레임을 설치하여 지지하는 방식이다.

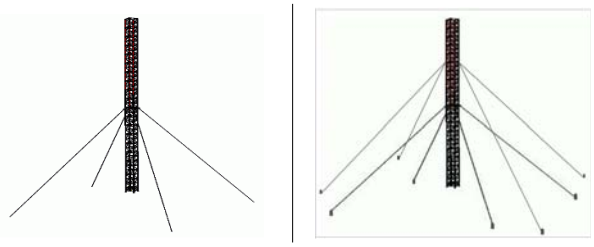


그림 5. 1단 지지와 다단 지지

본 연구에서는 〈그림 6〉과 같이 타워크레인의 1단 지지 방식 중 고정지점과 부재검토에 한정하여 연구를 진행한다.

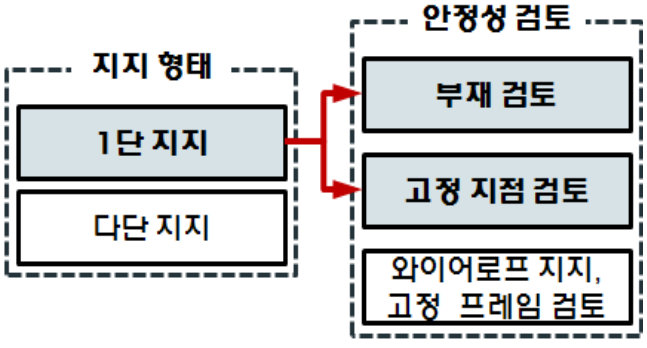


그림 6. 연구 범위

3. 로프가잉 안정성 검토

3.1 로프가잉 안정성 검토 절차

그림 7. 로프가잉 안정성 검토 절차

〈그림 7〉은 로프가잉의 안정성 검토 절차를 나타낸 그림이다.

타워크레인 기종 선정시 구조적 안정성 확보와 현장 조건에 적합한 장비를 선정한다. 또한 현장 조건에 맞게 Jib 길이 결정하면 타워크레인의 작업 반경과 하중이 결정된다. 그리고 장비가 자립고 이상일 경우 로프가잉을 설치한다. 로프가잉 설치는 먼저 와이어로프 지지, 고정 프레임을 타워크레인의 마스트에 설치하게 되는데, 설치 높이는 현장 담당자의 판단아래 설치하게 된다. 관련 법규에는 마스트와 와이어로프의 고정각도를 30~60도로 규정하고 있으며, 가장 이상적인 각도는 45도이다. 따라서 와이어로프를 지면에 고정할 시 다른 작업의 방해여부와 현장여건에 적합한 곳에 고정을 하고, 이상적인 각도가 되도록 와이어로프를 타워크레인 마스트에 설치하도록 한다.

타워크레인은 세장비가 매우 큰 구조물로 횡하중은 전도 등 장비의 안정성에 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 횡력에 대한 검토가 필요하다. 와이어로프의 설치 높이가 결정되면, 횡력이 결정되는데 가동시, 비가동시 횡력을 고려해야 한다. 그러나 비가동시에 편심하중이 작용하여 전도모멘트가 크게 되므로 오히려 가동시보다 불안정하므로 비가동시 설계횡력을 고려한다.

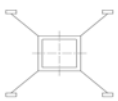
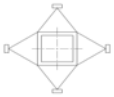
횡력에 대한 검토 후 로프가잉의 평면을 설계한다. 이는 와이어로프를 3줄, 4줄 혹은 6줄, 8줄로 할 것인가를 결정하는 단계이다. 각 로프에 걸리는 인장력이 결정되면 안전율을 적용한 와이어로프, 샤클, 턴버클을 선택하고, 부재의 안전율 확보 및 고정지점의 안정성 검토 단계를 통해 안정성을 검토한다.

3.2 로프가잉 평면 검토

현장조건에 적합한 타워크레인이 선정되고, 로프가잉의 설치 높이가 결정되면 장비에 작용하는 횡력이 결정된다.

로프가잉 평면 검토는 횡력에 안전하게 지지할 수 있도록 로프의 평면을 검토하는 과정으로 현장에 따라 로프를 고정할 수 있는 지점의 유무, 또는 다른 공정에 간섭이 없는 평면이 되도록 고려해야 하며 다음 〈표 3〉과 같이 분류한다.

표 3. 로프의 평면 방식

			
4줄 정방향	8줄 대각방향	8줄 정방향	6줄 혼합방향

횡력이 작용하는 방향에 따라 각각의 로프가 부담하는 하중은 달라진다. 〈그림 8〉은 타워크레인에 작용하는 횡력과 입면도 평면도를 나타낸 그림이다.

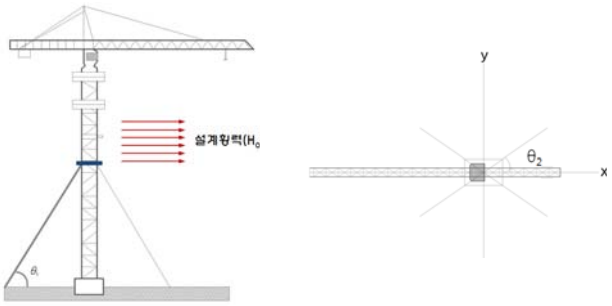
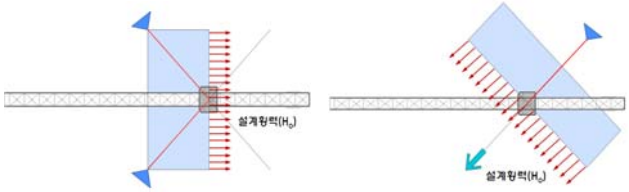


그림 8. 타워크레인에 작용하는 횡력

〈그림 9〉와 같이 각각의 로프는 설계횡력이 최대로 작용하는 경우에도 견딜 수 있는 인장력을 확보하여야 하며 각각의 로프에 작용하는 인장력은 다음과 같다.



인장력 산정 (θ1: 입면각, θ2: 평면각)

$$T = \frac{Tmax}{\cos\theta_1} \times \frac{1}{\cos\theta_2} \times \frac{1}{\text{힘을받는 Rope 수}}$$

그림 9. 로프에 작용하는 설계횡력

3.3 부재 안정성 검토

각각의 로프는 〈그림 10〉과 같이 와이어로프, 턴버클, 샤클로 구성되어 있다.

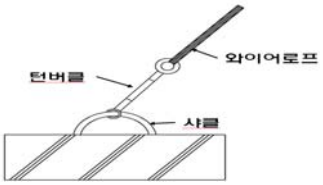
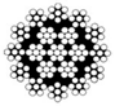


그림 10. 로프의 구성요소

각각의 로프에 작용하는 인장력이 결정되면 로프에 연결되어 있는 와이어로프, 턴버클, 샤클의 안전율을 검토해야 한다. 안전율 산정은 〈표 4〉와 같다.

관련법규에는 와이어로프의 안전율은 4 이상으로 할 것을 규정하고 있으며, 턴버클과 샤클 또한 와이어로프의 인장력에 의해 이완되지 않도록 할 것을 규정하고 있다.

표 4. 부재의 안전율

부재	안전율 산정
 Wire Rope	*Wire Rope* 안전율 = 절단하중 / 최대인장력
Turnbuckle	*Turnbuckle* 안전율 = 사용하중×5 / 최대인장력
Shakle	*Shakle* 안전율 = 사용하중×5 / 최대인장력

3.4 고정지점 안정성 검토

고정지점은 각각의 로프를 지면 또는 인접건물에 안전하게 설치하기 위한 지점으로 로프의 인장력을 견딜 수 있는 강도로 설계되어야 한다. 〈그림 11〉은 로프의 고정지점을 나타낸 그림이다.

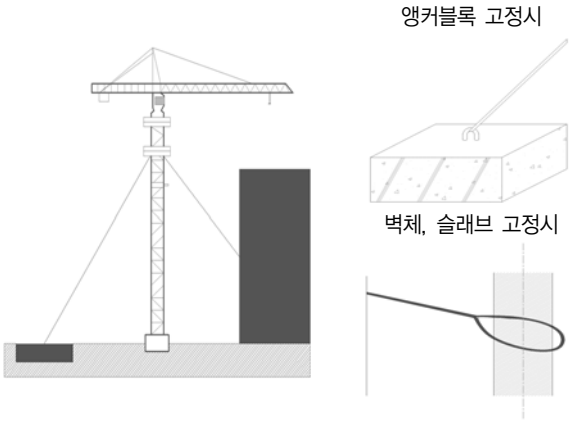
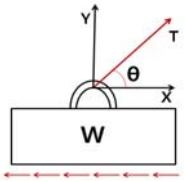


그림 11. 로프의 고정지점

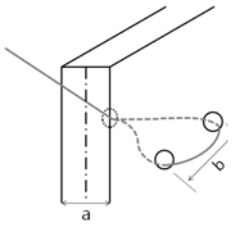
지면에 콘크리트 앵커 블록 사용 시 고정지점은 〈그림 12〉와 같이 로프의 인장력을 견딜 수 있는 중량이어야 하며, 토양의 활동저항 또한 고려해야 한다.



$$W = \frac{Tension \times Sin\theta}{2.3(t/m^2)}$$

그림 12. 앵커블록을 사용하는 경우

인접 건물의 벽체나 슬래브에 지지하는 경우 고정지점은 〈그림 13〉과 같이 벽 또는 슬래브에 구멍을 뚫어 로프를 고정하게 되며, 로프의 인장력을 안전하게 지지할 수 있도록 단면적을 확보해야 하며, 로프로 인해 구조체의 강도에 영향을 끼지지 않아야 한다.



$$ZV_{cx} = 0.85 \times 0.53 \times f_{ck}^{1/2} \times a \times b$$

$$ZV_{cx} > T_x$$

$$A > \frac{T_x \times \cos\theta \times 안전율(1.3)}{0.85 \times 0.53 \times \sqrt{f_{ck}}}$$

A = a x b(단면적)

Tx = 1개Guying점에 작용하는 힘

그림 13. 벽체에 고정하는 경우

4. 결 론

최근 건축공사가 대형화, 고층화 됨에 따라 타워크레인의 자립고만으로는 높이를 카버할 수 없으며, 태풍 및 돌풍 등에 의한 자연재해를 고려할 때 안정적 지지에 대한 공학적 검토는 매우 중요한 업무가 되었다. 특히 타워크레인 전도 사고 중 대부분이 로프가잉을 적용한 장비로 밝혀짐에 따라 로프가잉의 안정성 검토에 관한 연구가 필요하다.

본 연구는 타워크레인의 횡지지 방식 중 로프가잉의 안정성을 검토를 목적으로 다음과 같은 결과를 도출하였다.

로프가잉의 안정성 검토를 위하여 다음과 같은 절차를 제시하였다.

첫째, 현장조건과 양중부하에 적합한 타워크레인이 선정 후 마스트에 로프가잉을 설치할 높이가 결정되면 장비에 작용하는 횡력이 결정된다.

둘째, 현장 조건에 따라 로프가잉의 평면을 결정 후 설계 횡력에 견딜 수 있는 로프의 인장력을 산정한다.

셋째, 각각의 로프에 작용하는 인장력이 결정되면 와이어로프, 턴버클, 샤클의 부재의 안전율을 검토한다.

넷째, 마지막으로 지면에 콘크리트 블록 또는 인접 건물의 벽체 또는 슬래브에 로프를 고정하는 지점에 대한 안정성을 검토한다.

본 연구에서는 로프가잉의 부재 중 와이어로프, 턴버클, 샤클, 고정지점에 한정하여 연구를 수행하였으며, 1단지지 구조에 대하여 연구 하였다. 향후 연구에서는 마스트에 와이어로프를 연결하는 와이어로프 지지, 고정 프레임에 관한 연구와 다단지지에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

(NO. 2009-0063383)

참 고 문 헌

1. 고광일, 오우훈, 이은택, 건축용 타워크레인 마스트의 횡방향 지지요소인 월타이 부재력 특성곡선, 한국강구조학회논문집, 제18권 제6호, pp.697~706, 2006
2. 김선국, 서종민, 호종관, 이동식 크레인의 슬링, 러그 선정 및 안정성 검토 연구, 한국건설관리학회논문집, 제9권 제6호, pp.164~174, 2008
3. 삼성건설, OptiCRANE-TC(타워크레인 안정성 검토 프로그램) 사용자 설명서
4. 이명구, 노민래, 기초앵커 불량시공에 따른 타워크레인 사고의 원인분석, 한국산업안전학회 추계학술발표대회논문집, 한국산업안전학회, pp.411~416, 2000
5. 한국산업안전보건공단, KOSHA CODE M-55-2005, 타워크레인의 지지, 고정 및 운전에 관한 기술지침, www.kosha.or.kr, 2005.7
6. 호종관, 국동훈, 김선국, 건설현장의 조건을 고려한 최적 타워크레인 선정시스템, 한국건설관리학회 논문집, 제8권 제6호, pp.216~226, 2007