

타워크레인 사용 연한 설정을 위한 기초 연구

김기혁¹ · 오채원¹ · 이동훈*

¹한밭대학교 건축공학과

Basic Study for Setting Service Life of Tower Crane

Kim, Ki-Hyuke¹, Oh, Chae-Won¹, Lee, Donghoon*

¹Department of Architectural Engineering, Hanbat National University

Abstract : Recently, as development of building construction technology, height of building continues increase. But, there is no clear ground of service life of tower crane. So, accident in the tower crane continues to occur. In addition to Korea, there is no clear ground for the service life of tower cranes overseas. For this reason, this study aims to establish the maximum service life of tower crane. Accidents in tower cranes continues to increase, and the cause of the accident is that there are no ground of limitations for service life of tower cranes. Therefore, in this study, the maximum service life of the tower crane was calculated by using the information of the hoisting case of the tower crane to limit the model year of the tower crane. The results of this study are as follows; As the number and time of the hoisting work increases, the maximum service life of the tower crane decreases. In addition, since this study refers to European standards, it is necessary to establish standards for domestic situations. Result of this study, we expect decrease accidents in tower crane. And it is expected that the service life of tower crane will be more clear if this study is developed.

Keywords : Tower Crane, Service Life, Cycle Time, Tower Crane Accident

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건축기술이 발달함에 따라 건축물의 높이는 계속해서 높아지고 있다. 미국과 같은 선진국들은 1930년대부터 엠파이어 스테이트 빌딩(Empire State Building), 록펠러센터(Rock Filler Center) 등 100층 이상의 초고층 건축물을 짓기 시작했다. 아시아 국가들은 2000년대에 들어서 브루즈 할리파(Burj Khalifa), 상하이 타워(Shanghai Tower)를 세웠으며 우리나라 또한 롯데 타워(Lotte World Tower)를 완공하면서 세계적 수준의 초고층 건축물을 보유하게 됐다. 이와 같은 고층 건축물을 짓기 위해서 타워크레인은 반드시

필요한 증장비이므로 우리나라 타워크레인 등록수는 계속해서 증가하고 있다. 한국타워크레인임대업협동조합에 따르면 2009년 등록된 타워크레인의 대수는 2,958대였지만 2017년에는 6,162대로 2배 이상 증가했다. 국내의 경우 단독주택에서 아파트로 주택 형태가 변화함에 따라 아파트 공사 현장이 증가하므로 고층 건물의 비율이 높아지는 것 외에 주택 유형의 변화에 따라 타워크레인의 수요 꾸준히 증가했다. <Fig. 1>은 통계청에서 발표한 연도별 주택 유형의 변화를 나타낸 그래프이다. 1995년 아파트는 37.7%, 단독주택은 46.9%였으나 2015년 11월 1일 기준으로 아파트 59.9% 단독주택 24.3%로 아파트 거주 비율이 시간에 따라 계속해서 증가한다는 사실을 알 수 있다.

이와 같이 여러 원인으로 타워크레인의 수요는 점차 증가하고 있지만 현재 국내 타워크레인에 관련된 제도는 외국에 비해 미비한 실정이며 이로 인해 타워크레인 관련 사고는 계속해서 발생하고 있다. 고용노동부 발표에 따르면 2012년

* Corresponding author: Lee, Donghoon, Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Seoul 135-080, Korea
E-mail: donghoon@hanbat.ac.kr
Received April 10, 2019 accepted May 9, 2019

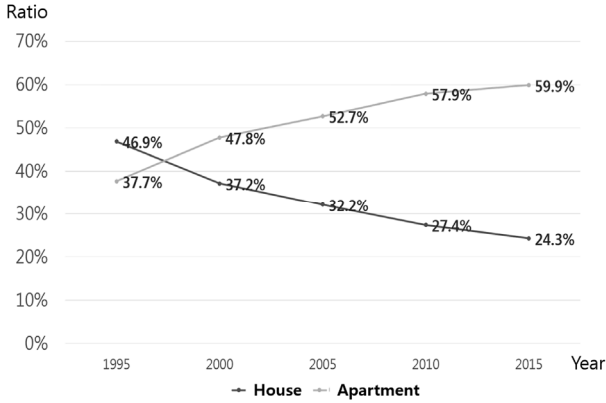


Fig. 1. Ratio of detached houses and apartments by year

부터 2017년까지 연평균 678건의 타워크레인 관련 사고가 발생했다. 특히 타워크레인은 중장비이기 때문에 사고가 나면 대형 참사로 이어지기 쉬워 그 심각성이 더욱 두드러진다. 2017년에 발생한 타워크레인 관련 사고는 다음과 같다.

5월 22일 남양주 아파트 건설현장에서는 높이 55 m, 가로 80 m의 대형크레인이 텔레스코핑(Telescoping) 작업 도중 아파트 11층 높이에서 꺾여 부러지면서 작업자 3명이 사망, 2명이 부상을 입는 사고가 발생했다. 이 사고는 크레인 상부 하중을 지탱하는 보조 풀이 파손되었으나 크레인 제조사에서 직접 부품을 구할 수 없어 국내 공업사에서 자체적으로 새 부품을 제작했으나 제작된 부품의 크기가 맞지 않아 일부 깎아낸 후 사용하여 발생했다.

또한 10월 10일에는 의정부시 아파트 건설현장에서 철거 중이던 타워크레인이 전도되면서 14층 높이에서 작업 중이던 노동자들이 지상으로 추락하면서 작업자 3명 사망, 2명 부상을 입는 중대사고가 발생했다. 의정부 사고 역시 텔레스코핑 작업 도중 노후 크레인이 넘어지면서 사고가 발생했는데 의정부고용노동지청에 따르면 이 사고는 노후된 타워크레인이 원인인 것으로 밝혀졌다.

위의 두 사례에서 알 수 있듯이 대부분의 타워크레인 관련 사고는 타워크레인의 노후화로 인해 발생한다. 전국 17개 시도의 5,980대의 20년 이상 노후화된 크레인은 전체 크레인의 43%로 높은 비율을 차지하고 있다. 또한 현재 우리나라 건설 현장에 있는 타워크레인의 절반 이상이 수입품을 구입했을 때 남양주 사고처럼 고장 발생 시 부품을 교체할 수 없다는 문제점이 있다.

이와 같은 사고를 방지하기 위해 정부는 2018년에 20년으로 타워크레인의 연식 제한 기준을 설정했지만 그에 대한 근거가 없는 실정이다. <Table 1>은 우리나라와 미국, 싱가포르의 타워크레인 연식 제한 기준을 나타낸 표다. 우리나라의 국토교통부는 타워크레인의 연식 제한을 20년으로 설정하고 있으며 미국 뉴욕 주의 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)에서는 25년으로 제한하고 있다. 또한 싱가포르의 MOM(Ministry of Manpower)에서는 신품

Table 1. Limit of service life for T/C by country

	Korea	New York	Singapore
Organization	MOLIT	OSHA	MOM
Limit of life service	20years	25years	New product 15년 Used product 10년

타워크레인은 15년, 중고 타워크레인의 경우 10년으로 연식을 제한하고 있으나 미국과 싱가포르 역시 연식 제한 기준에 대한 근거를 찾을 수 없다.

따라서 보다 안전한 타워크레인 사용을 위해서는 국내 건설 현장 및 상황에 맞는 사용연한의 제한 기준을 새로 설정하는 연구가 필요하다. 현재 타워크레인 관련 연구로 배치, 양중, 안전 등에 관련된 연구가 활발히 진행되었지만 타워크레인 연식 설정에 관한 연구는 활발히 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 현장에 맞는 타워크레인의 사용연한을 설정하기 위해 유럽의 타워크레인 서비스 수명(Service Life)에 대한 기준을 분석하여 국내 실정에 맞는 연식 산정에 대한 기초 연구를 실시한다.

2. 문헌 고찰

본 연구에서는 타워크레인 안전관리, 타워크레인 사고분석, 타워크레인 완성검사에 대한 분석 연구로 연구 유형을 세 가지로 나누어 고찰한다.

윤인수(2006)는 국내 건설현장에 사용되는 타워크레인의 안전진단 관리시스템 모델에 대해 연구를 실시했다. 그는 우선 국내·외 타워크레인의 관리제도 고찰과 국내 타워크레인 안전관리실태 분석 및 국내건설사의 타워크레인 운용 사례 분석한 후 타워크레인 안전진단을 위한 관리시스템의 프로세스를 제시한 후 시스템의 구현을 통해 도입효과를 검증했다. 시스템의 도입 중 작업 중 점검·확인표는 작업자가 적합여부를 체크하는 형식으로 이는 점검 확인이 소홀해 질 수 있으며 매우 주관적으로 판단되어 도입 결과 값이 다소 오차가 발생할 수 있는 한계점이 있다.

최철호(2017)는 타워크레인의 사고사례를 통해 위험성을 분석하고 사고 저감 방안을 도출하는 연구를 실시했다. 타워크레인의 중대 재해 사례를 분석해 작업 유형별, 재해 원인별, 재해발생 형태별로 분석한 결과 타워크레인 설치·해체작업 중 인적이요인이 사고 원인 중 가장 높았으며 그 중 안전수칙 미준수로 인한 추락사고의 비율이 가장 높았다. 그의 연구에서는 타워크레인의 기술적, 제도적, 교육적 저감 방안에 대한 제안과 필요성에 대해 기술했지만 비율이 높은 사고 원인인 인적 요인에 대한 제도적인 측면에서는 한계점이 보였다.

채창렬(2005)은 타워크레인 완성검사 대상 10,719대 중 불합격된 1,245대의 불합격 요인 2,753건을 분석하여 이를 중심으로 개선 방안을 제시했다. 타워크레인 완성검사에서도 나

타난 불합격 요인 분석 결과 외관 및 설치상태와 구조, 기계 장치, 방호장치, 전기장치가 대부분의 불합격 요인의 원인으로 분석되었으며 불합격 요인 감소를 위해 개선방안을 제시했다. 연구에서 분석된 완성검사 결과는 한국산업안전공단에서만 실시하여 검사원들이 결과 입력 중에 일부 오류가 있을 수 있거나 신뢰성이 부족한 자료를 사용한 연구를 진행했다는 한계점이 있다.

3. 타워크레인 사용 연한 설정

3.1 유럽 기준

타워크레인의 사용 연한을 제한하기 위해서는 타워크레인의 양중 부하 및 양중 시간에 대한 계산이 필요하다. 본 연구에서는 유럽 기준(CPA TCIG TIN 042 Issue A 140903)을 참고하여 연구를 진행했다. 타워크레인에 대한 유럽의 타워크레인 설계 표준(European Design Standard) 명칭은 FEM 1.001이며 본 연구에서 참고한 CPA TCIG TIN 042 Issue A-140903(이하 TIN 042)는 FEM 1.001의 일부분의 기준을 이용했다. TIN 042는 타워크레인의 고강도 조작에 대한 기준, 사용 가능성 평가 방법, 타워크레인의 서비스 수명 및 이에 대한 분류에 대한 기준, 부하 스펙트럼(The Load Spectrum) 등을 명시하고 있다. FEM1.001의 Introduction에서는 타워크레인 선정에 중요성에 대해 타워크레인 대부분이 정격 하중을 매우 높은 빈도로 양중하므로 설계된 수명보다 실제 사용 기간은 단축될 수 있으므로 타워크레인의 사용 계획 단계에서 타워크레인이 양중 할 자재의 무게, 양중 빈도 및 타워크레인의 양중 소요시간을 종합 평가하여 사용계획에 적합한 타워크레인이 선택되도록 해야 한다고 명시하고 있다. 그 다음으로 타워크레인을 이용한 고강도 작업의 종류에 대해 다음과 같이 정의하고 있다.

- Usage in excess of 10 hours per day
- Planned lifts in excess of 6 lifts per hour
- Risk of shock loading (emptying muck skips for instance)
- Use largely within a restricted arc of operation
- Frequent use above 70% SWL
(SWL : Safety Working Load, 안전사용하중)
- Short mast (20 m or less)

- Short jib (30 m or less)
- Permanently sited tower cranes in ship repair facilities, factories and plant yards
- Use of radio controls with consequent loss of operator feedback

위의 항목에 따라 국내 건설 현장에서도 고강도 작업을 지양하는 것이 이상적이지만 국내 건설 현장의 타워크레인은 하절기 11시간, 동절기 9시간으로 연평균 10시간으로 작업을 하고 있다. 따라서 이와 같은 사항을 적용할 때에는 국내 실정에 맞도록 조정할 필요가 있다.

마지막으로 유럽의 타워크레인은 FEM 1.001 및 CPA TCIG TIN 042 Issue A 140903의 A3 Class를 충족하도록 명시되어 있다. 모든 크레인은 유럽 설계 표준에 따라 특정 서비스 수명 및 부하 스펙트럼(The Load Spectrum)을 위해 설계되었다. 서비스 수명은 크레인이 수명 동안 수행하는 작동 사이클의 수이며 작동 사이클은 크레인이 양중 준비가 된 시점부터 시작하여 크레인이 다음 양중 준비가 된 순간으로 정의하고 있다. 부하 스펙트럼은 크레인에 가해지는 양중의 강도를 나누어 놓은 것이고 <Table 2>의 Q1-Q4에 해당하는 것이다. 이것은 “대부분의 작업 시간 안에서 정격 또는 정격에 가까운 양중을 하는가?”와 “주로 경량의 자재를 들어 올리고 거의 정격 용량에 가깝게 양중을 하는가?” 등과 같은 질문으로 양중 무게를 측정할 값이 타워크레인의 부하 스펙트럼을 결정한다. <Table 2>는 크레인의 설계 기준은 예상 사용 강도(Intensity of Use) 및 원하는 서비스 수명에 따라 크레인을 그룹화 한 것이다. 본 연구에서는 이것을 연식 산정에 참고했다. 타워크레인을 안전하게 사용하기 위하여 반드시 A3 Class에 포함되도록 서비스 수명을 산정해야 한다. <Table 3>은 크레인의 양중 강도에 대해 설명한 표로 Q1 (Light)에서 Q4 (Very Heavy)까지 4단계로 양중 무게별로 타워크레인을 분류하고 있다. 일반적으로 건설 현장의 타워크레인은 교량 건설, 조선제작업 등에 비해 상대적으로 양중량이 적고 가동률이 낮으므로 Q1 (Light), Q2 (Moderate) 스펙트럼에 속한다. 하지만 타워크레인의 가동률이 Q3 (Heavy), Q4 (Very Heavy)에 속한다면 <Fig. 2>와 같이 서비스 수명이 매우 빠르게 줄어드는 양상을 보여준다.

Table 2. T/C grouping according to lifting strength

Class of Utilization	U0	U1	U2	U3	U4
Total number of hoisting cycles	$\leq 1.6 \times 10^4$	$> 1.6 \times 10^4$ to $\leq 3.2 \times 10^4$	$> 3.2 \times 10^4$ to $\leq 6.3 \times 10^4$	$> 6.3 \times 10^4$ to $\leq 1.25 \times 10^5$	$> 1.25 \times 10^5$ to $\leq 2.5 \times 10^5$
Q₁ Light ($k_p = 0.125$)	A1	A1	A1	A2	A3
Q₂ Moderate ($k_p = 0.25$)	A1	A1	A2	A3	A4
Q₃ Heavy ($k_p = 0.5$)	A1	A2	A3	A4	A5
Q₄ Very Heavy ($k_p = 1.0$)	A2	A3	A4	A5	A6

Table 3. Detail of lifting weight for T/C

Designation	Explanation
Q1 Light	T/C that does little or no heavy work
Q2 Moderate	T/C that does quite heavy or heavy in weight
Q3 Heavy	T/C that frequently work on heavy or heavy loads
Q4 Very Heavy	Cranes working regularly close to maximum safety standards

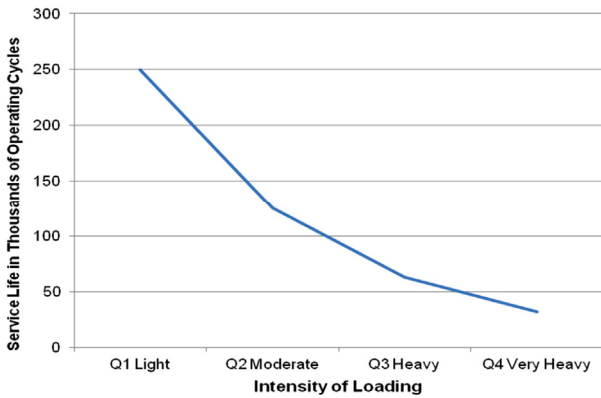


Fig. 2. Changes in service life due to lifting strength

〈Fig. 3〉은 〈Table 2〉의 크레인의 양중 강도에 따른 수명의 감소를 나타낸 그래프이다. 이는 타워 크레인이 최대 안전 양중 기준에 가깝게 중량을 들어 양중 시간이 길어질수록 타워 크레인 구조의 설계 수명이 짧아지는 것을 나타내고 있다.

3.2 타워크레인의 양중 사례 및 산정

국내에는 유럽의 기준과 같은 타워크레인 표준 기준이 마련되어있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서 유럽 기준을 참고하여 국내 건설 현장의 타워크레인의 평균 양중 횟수를 계산하여 사용 연한 설정을 위한 방법론의 토대를 마련했다. 연식 제한의 근거를 마련하기 위해서는 기준층에 대한 양중 계획에서의 1일 양중 횟수, 가동 시간 및 양중 사이클 타임에 대한 정의가 필요하다. 〈Table 4〉는 김정진(2002)이 사용한 사례이며 본 연구에서는 이를 적용했다.

3.3 양중 사이클 타임

양중 사이클 타임은 양중 계획 수립을 할 때 및 양중 부하를 산정할 때 중요한 요소로 작용한다. 본 연구에서 양중 사이클 타임은 다음과 같이 산정한다.

- (1) Tie : 지상에서 작업자가 자재를 슬링(Sling)으로 묶고 자재가 상승하기 전까지의 시간
- (2) Up : 자재가 지상에서 출발할 때부터 도착층까지 상승하여 설치 작업 전까지의 시간
- (3) Set up : 자재 설치 및 슬링 해체직전까지의 시간

Table 4. Overview of case buildings

	B site	C site	D site	E site
Total floor area (m ²)	455,149.2	223,020.6	386,974.6	145,200
Ground floor area (m ²)	260,726.4	142,758	62,214.9	35,508
Standard floor area (m ²)	1,642	2,190	1,018	1,040
Floor	59	69	69	46
Height (m)	229.6	262.5	256	164
Floor height (m)	3.2	3.2	3.2	3.2
Purpose	APT	APT + Officetel	APT	APT
Structure type	Corewall : RC			
	column, beam : steel frame	column, beam : iron frame	beam : RC	
	Slab : Deck + Concrete			Slab : RC
Method	Corewall: AC form	Corewall : ACS form		
Special method	iron frame : N construction method	Unit iron frame	iron frame Unit beam	column : ACS
Length of steel frame 1	4 floors			x
floor framing period	3 days	3 days	3 days	4 days
number of T/C	2	3	2	1

(4) Down : Set up이 끝난 후 타워크레인의 선회, 하강, 지상 도착까지의 시간

PC조의 경우에는 ‘조립 시간’을 추가하여 양중 사이클 타임을 산정할 수 있지만 본 연구에서 사용하는 사례는 PC조에 대한 공사를 포함하지 않았으므로 이는 고려하지 않는다. 〈Table 5〉는 부재별 양중 사이클 타임 평균을 구하기 위해 타워크레인을 이용한 1회 양중량과 1회 양중 사이클 타임을 나타낸 표다. 묶기 방식은 Unit 철골보, 다량 묶기 철골보로 분류할 수 있으며 Unit 철골보의 경우 1회 양중량은 2-4매, 다량 묶기 철골보의 경우는 6-8매이다. 또한 묶기 방식의 1회 양중 사이클 타임을 산정한 결과 평균 15분 15초로 산정됐다.












Table 5. Lifting cycle time and average time by bundle method

Bundle method	1 time lifting quantity	1 cycle time	Condition
Unit iron frame beam	2-4	17 m 17 s/time 7 m 55 s/piece	start : 1F finish : 50F
Massive bundling steel beam	6-8	31 m 24 s/time 4 m 59 s/piece	start : 12F finish : 60F
Average cycle time per 1 cycle		15 m 15 s	

〈Table 6〉은 양중 자재별 묶기 방법 및 수량에 대해 정리한 표다. 자재는 철골자재와 RC자재로 구분했으며 유로폼의 현장 평균 수량이 가장 많으며 철골 기둥, 내부기둥

시스템 거푸집, 기둥 선조립 철근, Corewall 선조립 철근의 평균 수량이 가장 적은 것으로 조사되었다.

Table 6. Bundle method and quantity by lifting materials

	Materials	Bundle method	Unit	Aver.	
Iron frame materials	Iron frame column		piece	1	
	Girder			2.5	
	Beam			4	
	Deck plate			63	
RC	Internal column system formwork		set	1	
	Euro form		piece	65	
	AL·Frame			36	
	Supporting post	Steel pipe		60	
	System prop				50
	Rebar	Lengthy cargo		ton	3
	pre-assembled rebar column		set	1	
	Corewall pre-assembled rebar			1	

<Table 7>은 높이별 양중 사이클 타임을 분석한 후 평균을 산출한 표다. 자재는 철골기둥, 철골보, 철근으로 분류하여 1회 양중 사이클 타임을 분석했다. 분석 결과 철골기둥을 20층 높이로 양중할 때 양중 사이클 타임이 30분 18초로 가장 길었으며 철근을 20층 높이로 양중할 때 양중 사이클 타임이 8분 24초로 가장 짧았다. 이들의 평균을 구했을 때 1회 양중 사이클 타임은 14분 6초로 분석됐다.

Table 7. Cycle time and average cycle time by height

	Hight	cycle time
Iron frame column	20 F (66 m)	30 m 18 s
	60 F	29 m 56 s
Iron frame beam	47 F	8 m 55 s/piece
	60 F	10 m 39 s/piece
rebar	20 F	7 m 42 s
	40 F	8 m 24 s
Average cycle time		14 m 06 s

자재별 1회 양중량과 1회 양중 사이클 타임을 조건별로 분석한 결과 <Table 8>과 같이 분석됐다. 철골 기둥, 철골 Grider&Beam 등 5개 항목에 대해 1회 양중 사이클 타임을 조사한 결과 Slab 거푸집 패널의 1회 양중 사이클 타임이 7분 28초로 가장 짧으며 철골 Grider 및 Beam의 양중 사이클 타임이 25분 18초로 가장 긴 것으로 조사됐다.

Table 8. Average lifting cycle time by materials

	Lifting quantity	Cycle time	Condition
Iron frame column	1 piece	16 m 59 s	50F
Iron frame Girder & Beam	2-3 pieces	25 m 18 s	
	1 piece	9 m 37 s	
Deck Plate	70-100 pieces	20 m 45 s	50F
Rebar	2-4 ton	11 m 56 s	Iron frame construction (60F)
		8 m 24 s	RC construction (40F)
Slab formwork panel	36 pieces	7 m 28 s	RC construction moved 3 floors
Average cycle time		14 m 10 s	

<Table 5>부터 <Table 8>까지 각 조건별 평균 양중 사이클 타임은 각각 15분 15초, 14분 6초, 14분 10초로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 보다 안전한 사용 연한을 산출하기 위해 각 요인별 양중 사이클 타임 중 최솟값인 14분 6초를 채택하였으며 계산의 편의성을 위해 14분을 기준으로 최종 사용 연한을 도출한다.

3.4 양중 시간 산출

본 연구에서는 개략 양중부하계산법을 채택하여 평균 양중 횟수를 산정했다. 개략 양중부하계산법은 다음과 같다. 이는 타워크레인 한 대에 해당하는 계산으로 가정한다.

- (1) 기준층에 대한 자체별 총 소요 양중시간 산정
- (2) 기준층 1일 평균 소요 양중시간 산출

$$1일\ 평균\ 소요\ 양중\ 시간 = \frac{\text{기준층 총 소요 양중 시간}}{\text{골조 사이클 공기(일/층)}}$$

- (3) 1일 장비가동시간 산출
 - 하절기 7:00 ~ 18:00 : 11시간
 - 동절기 7:30 ~ 17:30 : 9시간
 - 1일 평균 10시간 가동(이하 기준시간)
 - (4) 타워크레인 1대의 1일 최대 실가동시간 산정
 - (5) 실 가동시간(분)=1일 최대 장비 가동시간(분)*가동률(%)
- <Table 9>는 <Table 4>에서 채택한 각 현장별 타워크레인 가동률을 분석한 표다. 각 현장별 타워크레인 대수는 B현장 2대, C현장 3대, D현장 2대, E현장 1대이며 1일 평균 가동 시간은 각각 15시간 18분, 20시간 37분, 19시간 32분, 4시간 57분으로 조사되었다. 각 현장별 평균 가동률은 B현장 79.5%, C현장 67.6%, D현장 98%, E현장 49.5%로 조사되었으며 모든 현장의 평균 1일 가동률은 73.65%인 것으로 분석됐다.

<Table 10>은 <Table 9>의 평균 가동률을 기준으로 1일 최대 실가동 시간을 산출한 표다. 실가동 시간은 하절기와 동절기로 나눠서 산출했으며 하절기 11시간, 동절기 9시간을 기준으로 실가동 시간을 산출했다.

Table 9. T/C operating rate by construction site

Site	T/C	Daily average operating rate	Daily average operating rate (%)	
			Unit average operating rate	Average operating rate
B	Unit 1	7 h 18 m	73	79.5
	Unit 2	8 h 40 m	86	
	Total	15 h 18 m		
C	Unit 1	6 h 11 m	61.9	67.6
	Unit 2	7 h 14 m	72.3	
	Unit 3	6 h 53 m	68.8	
	Total	20 h 37 m		
D	Unit 1	10 h 5 m	100.1	98
	Unit 2	9 h 32 m	99.7	
	Total	19 h 32 m		
E	Unit 1	4 h 57 m	49.5	49.5
Total average utilization rate				73.65

Table 10. Daily maximum operating time

	Standard time (10 hours)	Summer (11 hours)	Winter (9 hours)
Maximum daily operating time	600 m	660 m	540 m
Operating rate	73.65 %		
Real operating time	442 m	486 m	398 m

Table 11. Maximum service life by operating time

	① A firm	Example					
		Standard time		Summer		Winter	
		② Average operation day/month	③ 52 hours work/week	④ Average operation day/month	⑤ 52 hours work/week	⑥ Average operation day/month	⑦ 52 hours work/week
cycle/hr	4	4.29					
hr/day	8	10		11		9	
day/month	20	20	26	20	26	20	26
month/year		10					
cycle/year	6,400	8,000	10,400	8,800	11,440	7,200	9,360
total cycle	124,800	124,000	124,800	123,200	120,120	122,400	121,680
kp=0.25	31,200	31,000	31,200	30,800	30,030	30,600	30,420
Maximum life service	19.5	15.5	12	14	10.5	17	13

Table 12. Maximum service life by operating rate

	① A firm	Example					
		Standard time		Summer		Winter	
		⑧ Average operation day/month	⑨ 52 hours work/week	⑩ Average operation day/month	⑪ 52 hours work/week	⑫ Average operation day/month	⑬ 52 hours work/week
cycle/hr	4	4.29					
hr/day	8	7.37		8.10		6.5	
day/month	20	20	26	20	26	20	26
month/year		10					
cycle/year	6,400	5,893	7,661	6,480	8,424	5,200	6,760
total cycle	124,800	123,760	122,581	123,120	122,148	124,800	121,680
kp=0.25	31,200	30,940	60,645	30,780	30,537	31,200	30,420
Maximum life service	19.5	21	16	19	14.5	24	18

3.5 사이클 수

본 연구는 A사의 타워크레인 연평균 양중 횟수(이하 사이클 수) 산정 방법을 기준으로 3.2의 사례에 적용했다.

사이클 수란 양중 사이클 타임(cycle/hr), 1일 가동 시간(hr/day), 1달 가동 일수(day/month), 1년 가동 개월 수(month/year)의 곱으로 타워크레인이 1년 동안 가동하는 사이클(cycle/year)로 정의한다. 이 때 양중 사이클 타임 14분은 3.3절에서 구한 4.29회/h의 양중을 의미한다.

A사 현장의 타워크레인 사이클 수는 6400회로 FEM1.001 A3 Class 기준에 따르면 최대 서비스 수명은 19.5년이다. A사에서는 최대 서비스 수명인 19.5년을 보수적 안전성을 고려하여 15년으로 적용했으나 이는 A사 임의로 설정한 기준이며 이외에 보수적 안전성에 대한 참고할 다른 기준이 없으므로 본 연구에서는 보수적 안전성을 고려하지 않은 값을 적용했다. A3 Class 기준의 최대 서비스 수명 산정은 다음과 같은 순서로 진행한다.

- (1) 양중 사이클 타임 산정(cycle/hr) = a
- (2) 1일 가동 시간 산정(hr/day) = a
- (3) 1달 가동 일 산정(day/month) = c
- (4) 1년 가동 월 산정(month/year) = d
- (5) 연간 총 사이클 수 산출(cycle/year) = a*b*c*d = e
- (6) 표 5의 Q1~Q4의 각 k_p 중 타워크레인의 양중 강도에

맞는 계수 선택(본 연구에서는 Q2 $k_p = 0.25$ 적용)

(7) 총 사이클 수(cycle/year)* $k_p = f$

(8) (7)의 f값에 선택한 계수에 맞는 사이클 수(Q1, Q2, Q3 : 31,250회, Q4 : 32,000회)를 초과하지 않는 최대 서비스 수명을 도출한다.

$f * \text{최대 서비스 수명} \leq 31,250\text{회 or } 32,000\text{회}$

이와 같은 수명 산정 방법을 사용한 A사의 사이클 수 산정 근거는 다음과 같다.

- 양중 사이클 타임 : 4 cycle/hr
- 1일 가동 시간 : 8시간(hr/day) 31.250(cycle)
- 1달 가동 일 : 20일(day/month) 1600(cycle/year)
- 1년 가동 월 : 10개월(month/year)
(A사 현장에서 사용한 타워크레인 임대사의 크레인 연평균 임대기간 기준)
- 연간 총 사이클 수 = 6,400회(cycle/year)
- $k_p = 0.25(Q2)$
- $6,400(\text{cycle/year}) * 0.25 = 1,600$
- ∴ 최대 서비스 수명 = 19.5 ≤

그러나 A사의 한 아파트 현장의 타워크레인 사이클 수는 타워크레인을 1년에 12개월을 가동하는 기준으로 7300회였다. 이는 양중 강도가 더 높아지므로 k_p 값이 달라지고 최대 서비스 수명도 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 이와 같은 사례를 통해 사이클 수는 공사 유형, 현장 상황 등에 따라서 값이 달라질 수 있다는 사실을 알 수 있다. 따라서 사이클 수 산정 및 최대 서비스 수명을 산출할 때 해당 시공사의 운영 방식, 공사 방식, 공사 규모 및 규모에 따른 타워크레인 대수, 현장 상황 등 여러 가지를 고려하여 타워크레인 마다 사용 연식 제한을 다르게 적용해야 한다. 다음 <Table 11>는 A사의 사이클 수와 3.2의 사례를 적용하여 산정한 사이클 수를 비교한 것이다. 사이클 수는 3.2.1에서 도출한 4.29 cycle/hr를 적용했다. 또한 비교 대상인 A사에서는 15분, 즉 1시간 당 4회 양중을 기준으로 삼았기 때문에 이에 대한 차이를 보여주기 위해 <Table 11>을 통해 비교했다. 1일 가동 시간은 현장마다 타워크레인 가동률이 달라질 수 있으므로 하절기, 동절기, 기준시간 및 <Table 9>에서 도출한 가동률(73.65%)을 적용한 실가동시간을 적용했다. 1달 가동일은 A사에서 적용한 20일과 주52시간근무 기준으로 26일을 적용했다. 또한 연평균 임대기간은 10개월로 고정했다. 먼저, 주 52시간 근무 기준 시간은 2018년 7월 1일부터 시행된 주 52시간 근무제를 적용하여 1달 30일 기준 휴일 4일 포함 26일 근무를 한다고 가정했다. 본 연구에서는 26일 근무를 적용했지만 현장 상황에 따라서 근무 일수가 달라질 수 있으므로 그에 맞는 변동이 필요하다.

<Table 11>은 타워크레인을 기준시간 10시간, 하절기 11

시간, 동절기 9시간 가동하는 가정 하에 A사와 비교한 표다. A사는 1일 가동시간을 8시간으로 적용했으며 본 연구에서 사용한 사례별 가동시간은 각각 9시간, 10시간, 11시간이다. 각 사례별 가동시간을 적용한 결과 최대 서비스 수명이 가장 짧은 사례는 ①, 가장 긴 사례는 ⑤다. 서비스 수명을 비교하여 가동시간 및 가동일이 가장 많은 ①과 ⑤는 1.9배까지 차이를 보였다. 가동시간이 많을수록 총 사이클 수가 증가하므로 최대 서비스 수명은 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한 1달 가동일이 많을수록 수명이 줄어드는 동일한 양상을 보였다.

<Table 12>는 사례의 현장 타워크레인의 실가동률을 적용하여 실가동시간을 산출한 후 A사와 비교한 표다. 그 결과 최대 서비스 수명이 가장 짧은 것은 ⑪, 가장 긴 것은 ⑫인 것으로 나타났다. ⑧과 ⑫는 ①보다 사이클 수는 많지만 1일 가동시간이 적기 때문에 최대 서비스 수명이 더 많은 것을 볼 수 있다. 그러나 ⑧과 ⑫를 제외한 사례에서는 Table 14와 동일한 양상을 나타냈다.

본 연구에서 실제 현장에서 측정한 타워크레인의 가동시간의 사례를 참고하여 타워크레인의 총 사이클 수를 산출한 뒤 유럽의 타워크레인 기준을 이에 적용하여 타워크레인의 최대 서비스 수명을 산출했다. 그 결과 최대 서비스 수명은 가동 시간과 가동률 별로 큰 편차를 보였다. 또한 사이클 수가 커질수록, 가동 시간이 많을수록, 가동 일이 많을수록 최대 서비스 수명은 줄어들 수 있다. 이는 최대 서비스 수명이 타워크레인의 가동횟수에 반비례한다는 것을 의미한다.

타워크레인은 제작되는 시점부터 다양한 조건을 가진 현장에 사용되고 이에 따라 가동횟수 및 가동시간도 달라진다. A사에서 시행하는 것과 같이 서비스 수명 데이터를 기반으로 사용 연한 제한을 통해 사용 연한 제한에 미치지 않는 타워크레인도 제한해야 하는 것으로 판단하여 경제적 손실이 발생할 수 있다. 따라서 사용 연한 제한에 대한 기준을 마련하기 보다는 각 타워크레인에 대한 정확한 사이클 수를 산출한 뒤 이에 맞는 서비스 수명을 제한해야 한다. 또한 유럽과 같은 서비스 수명에 대한 기준이 국내에는 없으므로 이에 대한 기준 마련도 필요하다. 마지막으로 유럽과 국내의 현장에 사용되는 타워크레인의 실정은 다른 것을 감안하여 국내 실정에 맞게 재조정된 기준 마련이 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 사례를 참고하여 타워크레인의 총 사이클 수를 산출한 뒤 유럽 타워크레인 기준에 적용하여 타워크레인의 최대 서비스 수명을 산정하고 A사의 적용사례와 비교를 했다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 타워크레인의 연간 총 사이클 수의 산출 요인은 사이클 수, 1일 가동시간, 1달 가동일, 1년 가동 월이 있다.
- (2) 타워크레인의 최대 서비스 수명은 산출된 연간 총 사

이클 수에 유럽 기준의 스펙트럼 계수 k_p 를 적용하여 산출할 수 있다.

- (3) 본 연구의 과정을 통해 산출된 타워크레인의 최대 서비스 수명은 가동 횟수 및 시간이 많을수록 줄어드는 양상을 나타냈다. 이는 최대 서비스 수명과 가동 횟수 및 시간에 반비례함을 의미한다.
- (4) 본 연구에서는 유럽 기준에 국내 타워크레인 상황을 적용했으므로 유럽 기준과 같은 국내 실정에 맞는 기준마련을 통하여 최대 서비스 수명에 대한 산출이 필요하다.
- (5) 타워크레인의 연한 제한에 대한 기준을 모든 타워크레인에 적용하는 것이 아닌 상황이 다른 각 타워크레인마다 연한 제한 기준 마련 방안이 필요하다.
- (6) 본 연구에서는 김정진(2002)의 연구 사례를 적용하여 타워크레인의 최대 서비스 수명을 산출하였다. 하지만 본 연구에서는 사례의 수가 한정되어 있어 더 많은 사례에 적용하여 타워크레인 가동 시간의 정확성을 높여 산출해야할 필요성이 있다.

타워크레인 사용 연한 설정에 대한 연구가 이전에는 활발히 이뤄지지 않았지만 본 연구에서 수명 산정 및 방법에 대해 연구했다. 따라서 본 연구를 통해 앞으로의 타워크레인 사용 연한에 대한 연구 기반이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 성과는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2017R1C1B5076057).

References

- Chae, Chang-Yeul. (2005). "A Study of the Causes of Failure in the Final Inspection of Tower Crane and Methods for Improvement" Master's thesis, Hanyang University, pp. 85.
- Choi, Chul ho. (2005). "A Study on the Risk Analysis and Measures of Reduction through Tower Crane Accidents Cases" Master's thesis, Hanyang University, pp. 57.
- Jeon, Hyun-Woo. (2013). "Risk Assessment for Reducing Safety Accidents caused by Construction Machinery"

Master's thesis, University of Incheon, pp. 97.

- Kim, Jung-Jin. (2002). "A Study on the Hoisting Planning System in Highrise Building Construction" Doctor's thesis, Myeongji University, pp. 154.
- Yeon, In-Soo. (2006). "A Study on the Safety Inspection Model of the Tower Crane a Construction Site in Korea," Doctor's thesis, Myeongji University, pp. 124.

요약 : 현재 건축물의 높이가 높아지고 우리나라 가구 형태가 개인 주택에서 아파트로 변화함에 따라 타워크레인의 사용 횟수는 계속해서 증가하고 있다. 그러나 이처럼 증가하는 타워크레인 사용 횟수에 반해 우리나라 타워크레인 관련 정책은 매우 미비한 실정이다. 특히 타워크레인 관련 사고의 원인 중 가장 큰 비중을 차지하는 타워크레인 연식에 대한 기준은 그 설정 근거가 부족하다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점에 주목하여 타워크레인의 보다 신뢰성 있는 타워크레인의 연식을 설정하는 연구를 진행한다. 이를 위해 본 연구에서는 기존 연구에서 사용했던 사례와 영국 타워크레인 기준을 바탕으로 사용 연식을 설정한다.

키워드 : 타워크레인, 사용 수명, 사이클 타임, 타워크레인 사고
