



2017년
연구보고서

OSHRI

산업안전보건기준에 관한 규칙 현행화 연구 (타워크레인 작업 중지 풍속 세부기준 마련)

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원





제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “산업안전보건기준에 관한 규칙 현행화 연구(타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련)”의 최종보고서로 제출합니다.

2017년 9월 30일

연구기관 : 부경대학교 산학협력단

연구기간 : 2017.04.03 ~ 2017.09.30

연구책임자 : 신성우(부경대학교 안전공학과 교수)

공동연구원 : 이의주(부경대학교 안전공학과 교수)

심성한(UNIST 도시환경공학부 부교수)

연구보조원 : 김신우(부경대학교 안전공학과 석사과정)

김원빈(부경대학교 안전공학과 석사과정)

김명호(부경대학교 안전공학과 학사과정)

이가연(부경대학교 안전공학과 학사과정)

요 약 문

연구기간

2017년 4월 3일 ~ 2017년 9월 30일

핵심 단어

타워크레인 작업 중지 풍속, 타워크레인 풍응답해석, 타워크레인 작업 안전

연구과제명

산업안전보건기준에 관한 규칙 현행화 연구
(타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련)

1. 연구배경

최근에 ‘산업안전보건기준에 관한 규칙 제37조 ②항’에 규정된 작업중지 풍속 기준이 “순간풍속 20 m/s”에서 “순간풍속 15 m/s”로 강화되었으며, 이러한 규정의 강화는 타워크레인 작업시 바람에 대한 안전성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 그러나, 이러한 기대에도 불구하고, 일부 현장 설문 조사 연구에서는 작업중지 풍속 기준을 “순간풍속 15 m/s”보다 더 작은 값으로 변경할 필요성이 있다는 응답이 보고된 바 있어서, 타워크레인의 구조적/작업적 안전성 확보에 있어서 개정 작업중지 풍속 기준의 타당성에 대한 검증과 함께 필요한 경우 이에 대한 보완대책의 마련이 필요한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 타워크레인의 구조적/작업적 안전성 측면에서 새로이 개정된 작업중지 풍속 기준의 타당성을 분석 및 검증하고, 또한 이를 바탕으로 개정 기준의 보완이나 합리적인 현장 적용을 위한 대책을 제시하고자 한다.

2. 주요 연구내용

(1) 국내/외 타워크레인 작업 중지 풍속 규정에 대한 분석

- 국내의 타워크레인 작업중지 풍속 규정은 일본과 매우 유사함을 알 수 있었으며, 특히 국내 타워크레인 설계 기준에서 제시하는 작업상태에 대한 설계 풍하중 산정 시에 적용하는 풍속의 최소 값은 16.3 m/s로서, 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 제시하는 개정된 작업중지 풍속에 근접하는 값을 알 수 있었음.
- 타워크레인 작업중지 풍속은 풍하중에 대한 타워크레인의 구조적 안전성을 확보하기 위해 설계 시에 적용하는 풍속이며, 따라서 타워크레인 구조 설계 기준과 별도로 작업중지 풍속을 규정할 경우에는 설계 기준에서 제시하는 풍속과의 연관성 뿐만 아니라 실적용성을 고려할 필요가 있으며, 이러한 측면에서 개정된 작업중지 풍속 규정은 합리성이 인정되는 것으로 분석됨.

(2) 타워크레인 작업중지 풍속에 대한 현장 실태 분석

- 타워크레인 작업중지 풍속과 관련하여 운전원과 건설사 관계자에게 설문조사를 수행하였으며, 15 m/s로 개정된 작업중지 풍속에 대해서 타워크레인 운전원과 건설사 관계자 모두 개정 기준치를 숙지하고 있는 것으로 나타남.
- 건설 현장 관계자의 경우 개정된 작업중지 풍속 기준이 대체적으로 적정하다고 인식하고 있는 반

면에, 운전원의 경우에는 개정된 기준보다 낮은 풍속으로 재개정이 필요하다고 인식하고 있는 것으로 나타남.

(3) 풍속에 따른 타워크레인의 구조 거동 분석

- 작업상태 타워크레인에 대한 정/동적 거동 분석 결과, 순간풍속 15 m/s 에서도 타워크레인 구조적인 안전성이 충분히 확보되는 것을 알 수 있었으며, 작업중지 풍속을 규정하는 근본적인 이유가 풍하중에 대한 타워크레인의 구조적 안전성을 확보하기 위한 것이므로 개정된 작업중지 풍속은 이러한 측면에서 적절한 것으로 분석됨.
- 풍하중에 대한 인양물의 거동 분석 결과, 인양물의 풍특성에 따라 동일한 풍속에서도 인양물의 흔들림 정도가 다르게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 순간풍속 15 m/s 에서도 인양물의 흔들림이 크지 않은 인양물이 있는 반면에 더 낮은 풍속에서도 매우 큰 흔들림이 발생하는 인양물이 있음을 알 수 있었음.
- 풍하중에 의한 인양물의 흔들림에 의한 사고를 예방하기 위해서는, 인양물의 종류별로 과도한 흔들림이 발생하지 않는 풍속을 작업 가능한 풍속으로 적용할 필요가 있으나, 이러한 풍속은 인양물의 풍특성에 따라 다를 수 있기 때문에 하나의 풍속 값으로 규정하기 어려우며, 따라서 이를 법적으로 규정하는 것은 불합리한 것으로 분석됨.

(4) 인양물 종류별 작업 제한 풍속 산정 방법 개발

- 인양물에 작용하는 풍하중의 허용 수준은 인양물 자중에 비례적이며, 비례상수는 타워크레인의 작업상태(in-service state)에 대한 설계 풍속 값에 따라 자중의 1.5% ~ 6% 임을 알 수 있었음.
- FEM 5.016에 제시된 인양물의 풍특성에 따른 작업 가능 풍속 산정 공식을 분석하여 이와 유사한 방법으로 개정된 작업중지 풍속 규정(순간 풍속 15 m/s)에 적합한(즉, 인양물에 작용하는 풍하중의 허용 수준을 인양물 자중의 1.5%로 적용한) 작업 가능 풍속 산정 공식을 유도함.
- 풍특성이 서로 다른 인양물에 대한 동적 거동 해석 결과, 제안된 공식으로 산정한 풍속을 적용할 경우 풍하중에 의한 인양물의 흔들림이 크게 발생하지 않음을 알 수 있었으며, 이로부터 제안된 공식이 풍하중에 대한 인양물의 작업안전성 확보에 유효하게 적용할 수 있음을 알 수 있었음.

3. 연구 활용방안

본 연구의 수행 결과는 (1) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 37조 ②항에 제시된 작업중지 풍속(순간풍속 15 m/s) 규정의 합리성 및 적정성에 대한 근거 자료로 활용, (2) 타워크레인 관련 KOSHA Guide 제/개정시 참고 및 근거 자료로 활용, (3) 건설 현장 등 실무에서 타워크레인 작업중지 및 작업재개 판단 등과 같은 의사결정시에 참고 자료로 활용, (4) 건설 현장 등 실무에서 인양물의 종류별(또는 풍특성별)로 작업 가능한 풍속 범위에 대한 판단 시에 참고 자료로 활용, (5) 타워크레인 운영 및 관리와 관련한 관계자(안전관리자, 타워크레인 운전자, 관리감독자 등)의 안전 교육 시에 교육 자료로 활용 가능할 것으로 판단된다. 또한 본 연구 결과의 실무적 활용성을 높이기 위해서는 본 연구에서 개발한 “인양물의 풍특성에 따른 작업 가능 풍속 산정 방법”이 포함된 타워크레인 작업 안전과 관련한 KOSHA Guide를 제/개정하는 등의 후속 대책이 필요할 것으로 사료된다.

∴ **연락처**

- 연구책임자 : 부경대학교 안전공학과 교수 신성우
 - ☎ 051) 629. 6473
 - E-mail shinsw@pknu.ac.kr
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 안전연구실 유현동 / 김동원 / 여현욱



산업안전보건기준에 관한 규칙 현행화 연구
(타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련)

Contents

I	서론	1
I.1.	연구 목적	3
I.2.	연구 목표 및 내용	5
II	국내/외 타워크레인 작업중지 풍속 관련 규정 분석	9
II.1	개요	11
II.2	국외 타워크레인 작업중지 풍속 기준 분석	12
II.3	국외 타워크레인 설계 풍하중 산정 기준 분석	13
II.4	국내 타워크레인 작업중지 풍속 관련 규정과의 비교 분석	26
II.5	소결	29
III	타워크레인 작업중지 풍속에 대한 현장 실태 조사 및 분석	31
III.1	타워크레인 운전원 설문조사 결과	33
III.2	건설사 및 건설현장 타워크레인 관계자 설문조사 결과	42
III.3	설문조사 분석 및 토의	52
III.4	소결	57
IV	풍속에 따른 작업상태 타워크레인의 정/동적 거동 분석	59
IV.1	작업상태 타워크레인의 거동 해석 개요	61
IV.2	구조해석 모델링 및 해석 방법	63
IV.3	작업상태 타워크레인의 거동 해석 및 결과 분석	76
IV.4	인양물의 거동 해석 및 결과 분석	83
IV.5.	소결	87

V	인양물 종류별 작업 제한 풍속 산정 방법 개발	89
	V.1 인양물에 대한 허용 풍하중 수준	91
	V.2 인양물의 풍특성을 고려한 작업 가능 풍속 산정 고식의 도출	96
	V.3 제안 공식의 유효성 평가	98
	V.4 인양물 종류별 작업 허용 풍속의 계측 기준 풍속	106
	V.5 소결	110
VI	결론 및 활용 방안	111
	VI.1 결론	113
	VI.2 활용 방안 및 보완 대책	115
	참고문헌	117
	Abstract	123
	부록	127



표 차례

〈표 2.1〉 조사 대상 규정	12
〈표 2.2〉 조사 대상 국가의 타워크레인 작업중지 풍속 기준	13
〈표 2.3〉 타워크레인 설계 하중 및 하중조합	16
〈표 2.4〉 최소 작업중지 풍속 및 타워크레인 설치높이 (일본 크레인 구조규격)	24
〈표 2.5〉 국내 타워크레인 작업중지 풍속 규정에 대한 분석 결과	28
〈표 4.1〉 거동 해석 대상 풍속	62
〈표 4.2〉 국내 타워크레인 설계 기준에서의 설계하중조합	62
〈표 4.3〉 풍력계수	71
〈표 4.4〉 거동 해석 대상 풍속의 풍속도압	73
〈표 4.5〉 인양물을 고려한 타워크레인의 거동 해석 케이스	77
〈표 4.6〉 해석 대상 인양물	85
〈표 5.1〉 인양물에 작용하는 풍하중의 제한 값	92
〈표 5.2〉 작업상태 설계 풍속을 적용할 수 있는 인양물의 풍특성 값	93
〈표 5.3〉 인양물의 풍특성에 따른 작업 허용 풍속 ($C_w = 2.4$ 인 경우)	99
〈표 5.4〉 인양물의 풍특성에 따른 작업 허용 풍속 ($C_w = 1.2$ 인 경우)	99
〈표 5.5〉 해석 대상 인양물의 풍특성 및 작업 허용 풍속 산정 결과	101
〈표 5.6〉 적용 풍속에 따른 해석 대상 인양물의 최대 회전 변위	104
〈표 5.7〉 해석 대상 인양물의 최대 수평 변위 (진자운동 최대 진폭)	105
〈표 5.8〉 지표면조도 구분	108
〈표 5.9〉 지표면조도 구분	108
〈표 5.10〉 갯품의 보정된 계측기준 작업 허용 풍속 ($\frac{A_p}{m} = 10$ 으로 $V_a = 4.5\text{m/s}$ 인 경우)	109
〈표 5.11〉 $V_a = 8.0\text{m/s}$ 인 인양물의 보정된 계측 기준 작업 허용 풍속	109

그림 차례

〈그림 1〉 타워크레인 사고 유형	3
〈그림 2.1〉 바람에 대한 타워크레인 선회부의 자유선회 개념도	14
〈그림 2.2〉 In-service wind 규정 (ISO 4302:2016)	18
〈그림 2.3〉 In-service wind 규정 (FEM 1.001)	19
〈그림 2.4〉 In-service wind 규정 (EN 13001)	21
〈그림 2.5〉 In-service wind와 Beaufort scale의 관계 (EN 13001)	22
〈그림 2.6〉 크레인 상태별 풍속도압 규정 (일본 크레인 구조규격)	23
〈그림 2.7〉 Durst Curve	25
〈그림 3.1.1〉 설문 응답자의 타워크레인 업무경력	33
〈그림 3.1.2〉 설문 응답자의 근무현장 공사종류	34
〈그림 3.1.3〉 담당 타워크레인의 종류	34
〈그림 3.1.4〉 현장 타워크레인 설치높이	35
〈그림 3.1.5〉 운전작업 중지 결정에 대한 중요 풍속	35
〈그림 3.1.6〉 운전작업 중지에 대한 법적 풍속기준의 인지	36
〈그림 3.1.7〉 운전원이 생각하는 작업중지 풍속기준	37
〈그림 3.1.8〉 풍속별 운전원이 느끼는 위험도	37
〈그림 3.1.9〉 타워크레인 운전작업 중 바람에 의한 사고경험	38
〈그림 3.1.10〉 높은 순간풍속에서 가장 위험한 타워크레인 운전작업	38
〈그림 3.1.11〉 바람에 의한 타워크레인 운전작업 중지의 결정 주체	39
〈그림 3.1.12〉 바람에 의한 타워크레인 운전작업 중지의 의미	40
〈그림 3.1.13〉 작업재개에 대한 판단 기준	40
〈그림 3.1.14〉 타워크레인 제조/임대 업체의 작업중지 풍속에 관한 정보 제공 여부	41
〈그림 3.1.15〉 타워크레인 제조/임대 업체의 작업중지 풍속에 관한 정보 이용	41
〈그림 3.2.1〉 설문 응답자의 타워크레인 업무경력	42
〈그림 3.2.2〉 설문 응답자의 담당업무	42
〈그림 3.2.3〉 현행 운전중지 법적 풍속기준의 적정성	43
〈그림 3.2.4〉 현행 법적 풍속기준이 적정하지 않다고 생각하는 경우 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 합리적인 풍속기준	43
〈그림 3.2.5〉 근무 현장에 풍속 감지하는 시스템의 구축 여부	44
〈그림 3.2.6〉 풍속을 감지하는 시스템이 구축되어 있는 위치	45
〈그림 3.2.7〉 여러 개의 풍속계가 현장에 설치되어 있는 경우 작업 풍속기준 결정	45
〈그림 3.2.8〉 건설현장의 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 풍속기준 규정여부	46
〈그림 3.2.9〉 현재 건설현장의 타워크레인 관련 작업상황의 안전성	46
〈그림 3.2.10〉 타워크레인 관련 작업지침 수립 및 준수 여부	47
〈그림 3.2.11〉 타워크레인 운전작업 중 가장 위험한 상황	48
〈그림 3.2.12〉 바람에 의한 타워크레인 운전작업 중지의 최종 결정	48

〈그림 3.2.13〉 타워크레인 작업 중지의 의미	49
〈그림 3.2.14〉 타워크레인 작업 재개의 판단	49
〈그림 3.2.15〉 타워크레인 풍속기준 강화(13 m/s)에 따른 예상 작업손실일수	50
〈그림 3.2.16〉 타워크레인 제조/임대 업체의 작업중지 풍속에 관한 정보제공 여부	50
〈그림 3.2.17〉 제공받은 작업중지 풍속에 관한 정보의 이용 여부	51
〈그림 3.3.1〉 합리적인 법적 작업중지 최대 풍속기준	52
〈그림 3.3.2〉 합리적인 법적 작업중지 최대풍속 평균	53
〈그림 3.3.3〉 현재 근무현장의 실제 작업중지 최대풍속 평균	53
〈그림 3.3.4〉 운전원의 다양한 기준에 의한 작업중지 최대풍속 평균값 비교	54
〈그림 3.3.5〉 위험성이 낮은 작업의 작업중지 최대풍속 평균값 비교	55
〈그림 3.3.6〉 타워크레인 설치 높이에 따른 작업중지 최대풍속 비교	55
〈그림 4.1〉 Gang Form	63
〈그림 4.2〉 인양물의 운동을 고려한 타워크레인의 거동해석 모델	64
〈그림 4.3〉 290HC 타워크레인	67
〈그림 4.4〉 290 HC의 Jib반경에 따른 허용인양하중	68
〈그림 4.5〉 290 HC 타워크레인 각 요소의 제원	69
〈그림 4.6〉 Gang Form 부재도	70
〈그림 4.7〉 Gang Form의 단순화 모델링	70
〈그림 4.8〉 작업상태 타워크레인의 가장 불리한 풍방향	72
〈그림 4.9〉 NatHaz On-line Wind Simulator (NOWS)	74
〈그림 4.10〉 인공풍속시간이력 (3초 거스트 풍속 15 m/s, 노출범주 C의 경우)	74
〈그림 4.11〉 해석 대상 유한요소모델 (위: 입체도, 아래: 평면도)	76
〈그림 4.12〉 풍방향 최대 및 최소 변위 위치와 값 (풍속 16.3 m/s)	78
〈그림 4.13〉 타워크레인 주요위치의 풍방향 변위와 전도모멘트 (정적해석)	79
〈그림 4.14〉 동적해석의 모드 중첩법에 고려된 모드	80
〈그림 4.15〉 타워크레인 주요위치의 풍방향 변위와 전도모멘트 (동적해석)	81
〈그림 4.16〉 주파수 응답 해석 (Jib의 끝단)	82
〈그림 4.17〉 정적/동적 해석 변위와 전도모멘트 비교	83
〈그림 4.18〉 진자 운동	84
〈그림 4.19〉 인양물 동적거동 분석 프로그램	85
〈그림 4.20〉 풍속에 따른 인양물의 풍압면적과 최대변위의 관계	86
〈그림 5.1〉 인양물의 풍특성을 고려한 작업 허용 풍속 산정 방법	94
〈그림 5.2〉 철근다발에 대한 해석 모델링	100
〈그림 5.3〉 인공풍속시간이력 (ASCE 7-98 노출범주 C)	102
〈그림 5.4〉 동적 거동 해석 결과	104



I

서론



I. 서론

I.1. 연구 목적

타워크레인(tower crane)은 중량물의 수직/수평 운반에 이용되는 기계 장비로써, 주로 고층 건축 구조물이나 케이블형 교량의 주탑 시공 등의 건설 현장에서 주로 이용된다. 특히, 타워크레인은 건설 구조물의 높이가 증가할수록 타워크레인의 설치 높이도 비례적으로 증가하며, 이에 따라 강풍이나 태풍 등과 같은 바람의 작용에 의해 타워크레인의 전면적/부분적 붕괴나 인양중량물의 탈락 등과 같은 재해가 발생할 위험성이 매우 높기 때문에, 바람에 대한 타워크레인의 구조적/작업적 안전성의 확보가 필수적이다 [Shapiro and Shapiro 2011]. 일례로 우리나라에서는 2003년 태풍 매미로 인해 국내 건설현장의 타워크레인 52대가 전도되는 사고가 발생하였으며, 외국에서도 국지적인 강풍이나 돌풍 등과 같이 바람으로 인한 재해가 타워크레인 관련 재해의 23%를 차지하고 있는 것으로 보고된 바 있다 [King 2011]. 이에 따라 우리나라에서도 바람에 대한 타워크레인의 안전성을 확보하기 위해 타워크레인의 풍속에 따른 작업중지 기준 및 구조에 관한 기준 등을 법적으로 규정하고 있다 [고용노동부령 제182호, 국토교통부 고시 제 2015-662호].

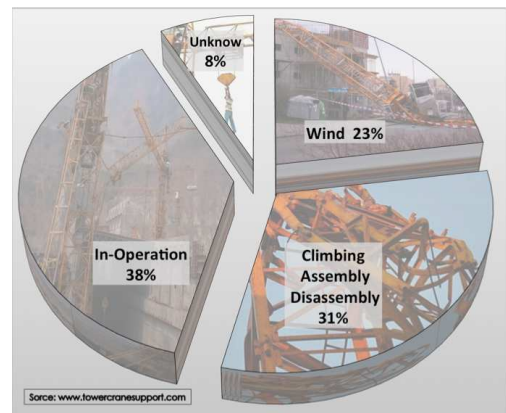


그림 1. 타워크레인 사고 유형

산업안전보건기준에 관한 규칙

제37조(악천후 및 강풍 시 작업 중지) ① 사업주는 비·눈·바람 또는 그 밖의 기상상태의 불안정으로 인하여 근로자가 위험해질 우려가 있는 경우 작업을 중지하여야 한다. 다만, 태풍 등으로 위험이 예상되거나 발생되어 긴급 복구 작업을 필요로 하는 경우에는 그러하지 아니하다.

② 사업주는 순간풍속이 초당 10미터를 초과하는 경우 타워크레인의 설치·수리·점검 또는 해체 작업을 중지하여야 하며, 순간풍속이 초당 15미터를 초과하는 경우에는 타워크레인의 운전작업을 중지하여야 한다. <개정 2017.3.3.>

한편, 최근에 ‘산업안전보건기준에 관한 규칙 제37조 ②항’에 규정된 작업중지 풍속 기준이 “순간풍속 20 m/s”에서 “순간풍속 15 m/s”로 강화되었으며, 이러한 규정의 강화는 타워크레인 작업시 바람에 대한 안전성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 그러나, 이러한 기대에도 불구하고, 일부 현장 설문 조사 연구에서는 “순간풍속 15 m/s”도 위험성이 있다는 응답이 보고된 바 있으며, 더 나아가 작업중지 풍속 기준을 “순간풍속 15 m/s”보다 더 작은 값으로 변경할 필요성이 있다는 응답도 보고된 바 있어서 [박일철 2014], 타워크레인의 구조적/작업적 안전성 확보에 있어서 개정 작업중지 풍속 기준의 타당성에 대한 검증과 함께 이를 보완할 수 있는 방안의 제시가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 타워크레인의 구조적/작업적 안전성 측면에서 새로이 개정된 작업중지 풍속 기준의 타당성 및 적정성을 검증하고자 하며, 또한 이를 바탕으로 개정 기준의 보완이나 합리적인 현장 운영 방안 수립에 있어서 근거 자료를 제시하고자 한다.

I.2. 연구 목표 및 내용

본 연구의 목표는 새로이 개정된 운전작업 중지 풍속 기준의 타당성을 검증하고 이로부터 개정 기준의 보완 및 합리적인 현장 운영 방안 수립에 있어서 근거 자료를 제시하는데 있다. 이를 위해 본 연구에서는 다음과 같은 연구를 수행하고자 한다.

- 국내/외 타워크레인 작업중지 풍속 규정에 대한 분석
- 타워크레인 작업중지 풍속에 대한 현장 실태 분석
- 풍속에 따른 타워크레인의 구조 거동 분석
- 인양물 종류별 작업 제한 풍속 산정 방법 개발

타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련

인양물 종류별 작업 제한 풍속 산정 방법 개발

풍속에 따른 타워크레인의 거동 분석

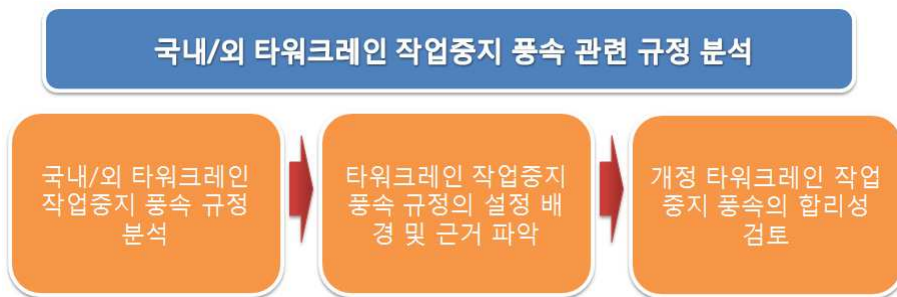
타워크레인 작업중지 풍속에 대한 현장 실태 분석

국내/외 작업중지 풍속 관련 규정 분석

- 주제 1 : 국내/외 타워크레인 작업중지 풍속 규정에 대한 분석

- 일반적으로 타워크레인은 구조적 안정성(stability)적인 측면에서 바람의 영향을 매우 크게 받는 구조물이며, 이에 따라 타워크레인의 설치/해체/운용 등의 전 과정에서 바람에 대한 안정성을 확보할 수 있도록 각 국가에서는 이를 위한 제도적/기술적 규정을 마련하고 있음.

- 바람에 대한 타워크레인의 안정성 확보를 위한 제도적/기술적 규정의 구체적인 내용은 국가별로 상이한 경우가 많으며, 타워크레인의 작업중지 풍속에 대한 규정도 국가별로 서로 다르게 규정하고 있는 경우가 많음. 일례로 영국/프랑스/독일 등 주요 유럽 국가의 경우는 대부분 “순간 풍속 20 m/s”를 작업중지 풍속으로 규정하고 있으나, 미국의 경우는 특정 풍속 값을 작업중지 풍속으로 규정하지 않고 있음.
- 따라서, 새로이 개정된 타워크레인의 작업중지 풍속(순간풍속 15 m/s)에 대한 타당성을 검토하기 위해서는, 무엇보다 타워크레인 작업중지 풍속의 설정 배경과 근거에 대한 근본적인 이해가 필요함.
- 본 연구에서는 타워크레인 작업중지 풍속에 관한 국내/외 규정을 분석하여, 타워크레인 작업중지 풍속 규정의 설정 배경과 근거를 파악하고, 이를 바탕으로 새로이 개정된 국내 작업중지 풍속 규정의 설정 근거적 측면에서의 합리성을 검토하고자 함.



□ 주제 2 : 타워크레인 작업중지 풍속에 대한 현장 실태 분석

- 새로이 개정된 타워크레인 작업중지 풍속 규정의 타당성을 검토하기 위해서는, 앞서 제시한 작업중지 풍속 규정의 결정 논리 뿐만 아니라 이러한 규정에 대한 실무 적용 타당성에 대한 분석이 필요함.
- 따라서, 본 연구에서는 건설 현장의 실무 전문가를 대상으로 타워크레인 작업중지 풍속에 대한 전반적인 실태를 조사하여, 개정된 작업중지 풍속 규정의 실무

적용 타당성에 대한 검토와 함께 실적용 효과를 향상할 수 있는 보완 대책 마련의 근거 자료를 확보하고자 함.

타워크레인 작업중지 풍속에 관한 현장 실태 분석

실무 전문가에 대한
타워크레인 작업중지
풍속 실태 설문 분석

개정 작업중지 풍속 규정
의 실무 적용 타당성 검토

□ 주제 3 : 풍속에 따른 타워크레인의 구조 거동 분석

- 타워크레인을 이용한 인양물 운반 작업 과정에서 풍하중이 작용할 경우, 이로 인해 바람에 대한 타워크레인 본체의 안전성이 저하될 수 있음.
- 따라서, 개정된 타워크레인 작업중지 풍속 규정의 타당성을 검증하기 위해서는, 풍하중에 대한 이러한 작업 상태 타워크레인의 정/동적 거동에 따른 타워크레인의 구조적 안전성에 대한 분석이 필요함.
- 본 연구에서는 타워크레인 작업중지 풍속에 대한 현장 실태 조사 자료를 바탕으로 풍하중에 가장 취약한 인양물을 선정하고, 선정된 인양물을 포함한 작업 상태 타워크레인의 정/동적 풍응답해석을 수행하여, 개정 작업중지 풍속에 대한 타워크레인의 구조적/작업적 안전성을 검토하고자 함.

풍속에 따른 타워크레인 구조 거동 분석

타워크레인 구조 및
풍하중 모델링

인양물을 고려한 타워
크레인의 정/동적 풍
응답해석

개정 작업중지 풍속에
대한 타워크레인의 구
조적/작업적 안전성
검토

□ 주제 4 : 인양물 종류별 작업 제한 풍속 산정 방법 개발

- 타워크레인 작업시 인양물에 풍하중이 작용할 경우, 인양물의 동적 거동 현상이 나타날 수 있으며, 이러한 인양물의 동적 거동이 과도할 경우 인양물 탈락 등과 같은 사고가 발생할 수 있음.
- 따라서, 풍하중에 의한 인양물의 동적 거동으로 인한 사고를 예방하기 위해서는, 인양물에 작용하는 풍하중을 제한할 필요가 있음.
- 본 연구에서는 작업 과정에서 인양물에 작용하는 풍하중을 적정 수준으로 제한하기 위해 인양물의 풍특성을 고려한 작업 제한 풍속 산정 방법을 개발하고자 함.

인양물의 풍특성에 따른 작업가능 풍속 산정 방법 개발





Ⅱ

국내/외 타워크레인 작업중지 풍속 관련 규정 분석



II. 국내/외 타워크레인 작업중지 풍속 관련 규정 분석

II.1. 개요

타워크레인은 구조적 측면에서 바람의 영향을 매우 크게 받는 구조물이며, 타워크레인의 안전관리에 있어서 이러한 바람에 대한 구조물의 안정성(stability) 확보가 매우 중요하다 [Shapiro and Shapiro 2011]. 이에 따라 타워크레인의 제작/설치/해체/운전 과정에서 바람에 대한 안정성을 확보할 수 있는 여러 가지 제도적/기술적 사항을 각 국가에서 규정하고 있다. 그러나, 이러한 제도적/기술적 규정의 구체적인 내용은 상이한 경우가 많은데, 일례로 작업중지 풍속에 대한 규정을 살펴보면 영국/프랑스/독일 등 유럽 국가의 경우 “풍속 20 m/s”로 규정하고 있는 반면에, 미국에서는 작업중지 풍속을 특정 풍속 값으로 규정하지 않고 타워크레인 제조업체의 권장 값이나 현장 전문가의 판단에 따라 작업중지를 결정하도록 규정하고 있다 [김원빈 등 2017]. 우리나라의 경우, “산업안전보건기준에 관한 규칙” 제 37조 ②항에 타워크레인의 작업중지 풍속 기준이 규정되어 있으며, 최근까지 “순간풍속 20 m/s”로 규정하고 있었으나, 2017년 3월 3일부로 “순간풍속 15 m/s”로 개정 시행하고 있다.

타워크레인의 작업중지 풍속 규정은 타워크레인을 이용한 인양/운반/하역 작업 과정에서 바람에 대한 타워크레인의 안전성(safety) 확보에 있어서 매우 중요한 역할을 하며, 따라서 작업중지 풍속 기준을 규정하고자 할 경우 안전성이 충분히 확보될 수 있도록 하여야 한다. 따라서, 본 장에서는 국내/외 타워크레인 작업중지 풍속 관련 기준을 수집/분석하여, 타워크레인 작업중지 풍속 기준 설정 시에 어떠한 결정 논리가 적용되었는지를 알아보고, 이를 바탕으로 국내에서 최근에 개정 시행된 작업중지 풍속 규정에 대해 결정 원리적 측면에서의 타당성을 검토하고자 한다.

II.2. 타워크레인 작업중지 풍속 기준 분석

본 연구에서 타워크레인 작업중지 풍속 관련 규정의 조사 대상은 표 2.1에 나타난 바와 같다.

표 2.1 조사 대상 규정

국가	조사 대상 규정 (규격)	비고
영국	BS 2573	▶ 2011년에 EN 13001로 대체 ▶ 2011년 이전에 제작된 타워크레인에 대해 적용
프랑스	NF E52-081	
독일	DIN 15018	
미국	ASME B30.3	—
일본	크레인 등 안전규칙 (후생노동성 영 제1호)	—
중국	중화인민공화국 국가기준 (GB 9462-88)	—
EU	EN 13001	▶ 현행 EU 회원국 기준
FEM (유럽인양 장비협회)	FEM 1.001	▶ EN 13001의 모태 기준 ▶ ISO의 관련 규정과 함께 국제적으로 많이 준용
ISO	ISO 4302	▶ 국제 표준 (다수의 국가에서 자국 타워크레인 설계 기준에 준용) ▶ 2016년에 개정

표 2.2는 각 규정에서 정의하고 있는 타워크레인 작업 중지 풍속 기준에 대한 조사 결과를 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이, 미국/일본을 제외한 대부분의 국가에서는 “타워크레인 작업중지 풍속”을 타워크레인의 작동상태(운전상태, in-service condition)에 대한 설계 풍하중 산정 시에 적용하는 풍속 값을 기준으로 하고 있음을 알 수 있으며, 대부분의 경우 “풍속 20 m/s”가 기준 값을 알 수 있다. 한 가지 주목할 만한 점은, FEM 1.001과 EN 13001에서는 작업중지 풍속 기준으로 “3초 평균 풍속 20 m/s”를 규정하고 있다는 점인데, 이는 실무에서 작업중지 여부에 대한 판단 시에 풍속의 측정 기준을 제시한다는 측면에서 매우 중대한 의미를 가진다. 한편, 모든 설계 기준에서 작동상태에 대한 설계 풍하중 산정 시 적용하는 풍속은 최대 풍속으로 정의되며(즉, maximum in-service design wind speed), 따라서 작업중지 풍속 기준 값으로 제시된 풍속은 작업 가능한 최대 허용 풍속(maximum permissible wind speed)을 의미한다.

표 2.2 조사 대상 국가의 타워크레인 작업중지 풍속 기준

	작업중지 풍속 기준	설명
영국	풍속 20 m/s	타워크레인의 In-service condition에 대한 설계 풍하중 산정 시 적용하는 풍속
프랑스	풍속 20 m/s	타워크레인의 In-service condition에 대한 설계 풍하중 산정 시 적용하는 풍속
독일	풍속도압 (wind velocity pressure) 250 N/m ²	- 타워크레인의 In-service condition에 대한 설계 풍하중 산정 시 적용하는 풍압 - 일반적으로 많이 사용되는 풍속도압 산정 공식인 $p = 0.625 V^2$ 을 적용하면, 풍속 20 m/s 에 해당
미국	타워크레인 제작사가 지정하는 풍속 또는 이에 대한 정보가 없을 경우 전문가 판단에 따라 작업중지 풍속을 결정	- ASME B30.3에서는 타워크레인의 설계 풍하중 산정을 ASCE 7-95를 준용하도록 하고 있음 - ASCE 7-95에서 규정하는 풍속도압의 최소값은 480 N/m² 이며, 이는 풍속 약 28 m/s 에 해당 - ASCE 7-95에서의 풍속은 3 second average wind velocity (3초 평균 풍속)으로 정의
일본	“강풍 시에 작업의 위험이 예상되는 경우 작업을 중단하여야 한다”고 규정	- 일본의 크레인 구조 규격(후생노동성 고시 제399호)에서는 타워크레인의 작업상태(In service condition)에 대한 설계 풍하중 산정 시 적용할 풍속도압을 규정하고 있음. - 작업시에 대한 풍속도압은 타워크레인의 최대 설치 높이에 따라 다르지만 최소값은 160 N/m² 이며, 이는 풍속 16 m/s 에 해당됨. - 일본의 크레인 안전 규격 제31조 2에서 “강풍”은 “労働省通達基発 第480号”에서 “10분 평균 풍속 10 m/s 이상”의 바람으로 정의함.
중국	풍속 20 m/s	중국의 타워크레인 설계 기준인 GB/T 13752 는 ISO 4302를 인용하고 있음.
EU	3초 평균 풍속 20 m/s	- 타워크레인의 In-service condition에 대한 설계 풍하중 산정 시 적용하는 풍속 - 대부분의 EU 회원국은 자국의 타워크레인 설계 관련 규격 중 EN 13001에 해당하는 규격을 2011년 부로 폐지하고, 이를 EN 13001로 대체함 2011년 이전에 제조된 타워크레인은 EU 회원국 자국의 타워크레인 설계 규격이 적용됨
FEM	3초 평균 풍속 20 m/s	타워크레인의 In-service condition에 대한 설계 풍하중 산정 시 적용하는 풍속
ISO	풍속 20 m/s	- 타워크레인의 In-service condition에 대한 설계 풍하중 산정 시 적용하는 풍속 - 새로이 개정된 ISO 4302:2016 기준이며, 이전 ISO 4302:1981의 In-service condition에 대한 설계 풍하중 산정 시 적용하는 풍속과 동일 - 개정된 ISO 4302:2016에서는 이전 ISO 4302:1981에서는 규정하지 않았던, 풍속 적용 위치(타워크레인 최상단)를 규정하고 있으며, 또한 실제 작업중지 풍속은 타워크레인을 out-of-service condition으로 전환하는데 걸리는 시간을 감안하여 20 m/s 보다 작은 값을 사용하도록 규정

‘최대 허용 풍속’이 갖는 의미는, 이 보다 낮은 풍속에서도 작업중지가 필요하거나 또는 요구되는 경우가 있다는 것을 내포하고 있으며, 미국의 규정에서 작업중지 풍속으로 특정한 풍속 값을 규정하지 않고 있는 것은 현장에서 이러한 상황에 대해 자율적/능동적으로 대처할 수 있도록 하기 위함으로 사료된다. 실제로 영국 CPA(Crane Plant-hire Association)에서는 “풍속 20 m/s 는 작업 가능한 상한선이며, 모든 타워크레인 작업이 풍속 20 m/s에서 가능한 것은 아니다”라고 명시한 바 있다 [CPA 2008].

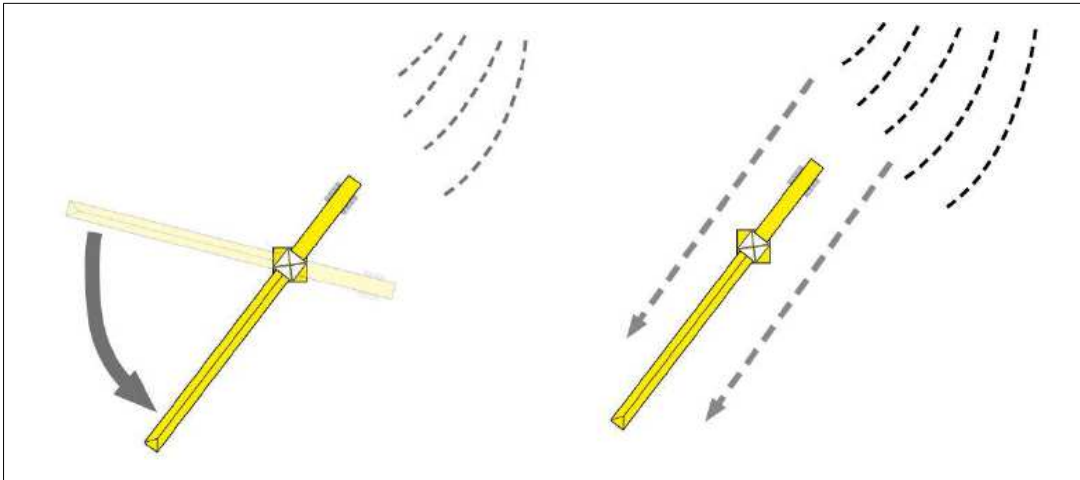


그림 2.1 바람에 대한 타워크레인 선회부의 자유선회 개념도

앞서 언급한 바와 같이, 대부분의 규정에서 타워크레인의 작업중지 풍속은 in-service condition에 대한 설계 풍하중 산정 시의 풍속(또는 풍속도압) 값을 기준으로 하고 있는데, 이는 설계에서 확보한 풍하중에 대한 타워크레인의 구조적 안전성을 실제 타워크레인의 운용 과정에서도 확보할 수 있도록 한다는 측면에서 중대한 의미를 갖는다. 일반적으로 구조체의 바람을 받는 면의 크기가 작을수록 구조체에 작용하는 풍하중도 작아진다 [Holmes 2015; 한국풍공학회 2010]. 따라서, 타워크레인의 jib(boom)과 같은 선회부(slewing part)가 자유선회상태(weathervane state)에 있을 경우, 그림 2.1과 같이 선회부가 바람에 저항하지 않고 회전하게 되며 (즉, 선회부가 바람을 받는 면적이 최소화되는 위치로 이동), 이로 인해 자유선회가 되지 않는 경우보다 타워크레인에 작용하는 풍하중이 크게 줄어든다. 타워크레인 설계에서는 선회부가 자유선회가 되는 조건(out-of-service 또는 weathervane condition)과 자유선회가 되지 않는 조건(in-service 또는 operation condition)으로 구분하고, 각각의 조건에서 가장 불리한 풍하중의 크기와 작용 방향을 고려하여 타워크레인을 설계한다[Shapiro and Shapiro 2011]. 이 때, 풍하중의 크기 측면에서 가장 불리한 경우를 고려하기 위해서는



각각의 상태에 대한 최대 풍속(또는 풍속도압)이 미리 결정되어야 하는데, 앞서 조사한 각 기준에서 작업상태 풍속(in-service wind speed)으로 규정한 풍속(또는 풍속도압)이 바로 자유선회가 되지 않는 상태에 대한 설계 최대 풍속에 해당된다. 따라서, 설계에서 가정한 작업상태 풍속 이상의 바람이 작용할 경우에는, 설계 시 out-of-service 조건으로 고려한 풍하중이 작용될 수 있도록 타워크레인의 작동을 멈추고 자유선회가 되는 상태로 전환하여야 타워크레인의 구조적 안정성을 확보할 수 있다. 결론적으로 타워크레인의 작업중지 풍속을 규정하는 근본적인 이유는, 작업상태 및 작업중지상태 각각의 경우에서 풍하중에 대한 타워크레인의 구조적 안정성을 확보하기 위한 것이다.

II.3. 타워크레인 설계 풍하중 산정 기준 분석

앞 절에서 나타낸 바와 같이, 대부분의 작업중지 풍속 규정은 타워크레인 설계 풍하중 산정 시 고려된 풍속(풍속도압)을 기준으로 하고 있다. 따라서, 우리나라의 작업중지 풍속 규정의 타당성을 검토하기 위해서는, 타워크레인 설계 풍하중 산정 기준에 대해 자세히 알아볼 필요가 있다. 본 절에서는 타워크레인 설계 시에 고려되는 하중과 이러한 하중들의 하중조합(load combination) 과정에서 적용되는 풍하중의 산정 기준에 대해, 국제적으로 많이 준용되는 기준인 ‘ISO 4302’, ‘FEM 1.001’, ‘EN 13001’과 우리나라의 타워크레인 설계 기준과 유사한 일본 ‘타워크레인 구조규격’을 대상으로 자세히 알아보려고 한다.

II.3.1) 타워크레인 설계 하중 및 하중 조합

일반적으로 대부분의 타워크레인 설계 기준(우리나라의 경우 포함)에서 고려하는 하중의 종류와 하중조합은 표 2.3에 나타낸 바와 같다 [Shapiro and Shapiro 2011].

표 2.3. 타워크레인 설계 하중 및 하중조합

구 분		하중조합(load combination)	
		작업상태 (in-service)	작업중지상태 (out-of-service)
고정하중 (Dead Load)	인양하중(인양도구포함) (service load)	○	X
	크레인자중 (self-weight)	○	○
작업하중 (Work Load)	수평운동에 따른 하중 (loads due to horizontal movements)	○	X
	수직운동에 따른 하중 (loads due to vertical movements)	○	X
풍하중 (Wind Load)	작업상태 풍하중 (in-service wind)	○	X
	작업중지상태 풍하중 (out-of-service wind)	X	○
기타	지진하중, 열하중, 충돌하중 등 (Earthquake, thermal, collision, etc.)	△	△

표 2.3에 나타냈듯이, 타워크레인 설계 시 작업중지상태(out-of-service)에 대한 하중조합에 ‘인양하중’과 ‘작업하중’을 제외하고 있음을 알 수 있다. 즉, 작업중지상태의

타워크레인에 대한 설계에서는 인양하중과 작업하중이 작용하지 않고 있다는 것을 가정하고 있다. 따라서, 설계에서 확보한 타워크레인의 구조적 안전성을 실제적으로 확보하기 위해서는, 작업상태조건에 대한 설계 풍속(또는 풍속도압) 이상의 강풍이 작용할 경우, 현장에 설치된 타워크레인은 인양물이 제거된 상태여야 할 뿐만 아니라, 선회부(slewing part)의 풍하중 작용 상태가 작업중지상태에 대해 적용한 설계 풍하중 작용 상태가 되도록 조치하여야 함을 알 수 있다. 따라서, 현장에 설치된 타워크레인의 구조적 안전성을 확보하기 위해서는, 설계 시에 고려한 풍속을 기준으로 작업중지 풍속을 정하고 이를 의무적으로 지키도록 하는 것이 필수적인 사항이라고 볼 수 있다.

II.3.2) 타워크레인의 작업상태에 대한 설계 풍하중 산정 기준

(1) ISO 4302:2016 (Cranes – Wind Load Assessment)

전술한 바와 같이, ISO 4302는 기존 ISO 4302:1981을 대체하는 새로운 기준인 ISO 4302:2016이 2016년에 공표되었다. 본 연구에서는 ISO 4302:2016에 제시된 설계 풍하중 산정 기준에 대해 알아보았으나, In-service 조건에 대한 설계 풍속(풍속도압)은 ISO 4302:1981과 크게 달라진 점이 없다는 것을 미리 밝혀둔다.

ISO 4302:2016에서 설계 풍하중은 다음 식과 같이 풍속도압을 이용하여 산정하도록 하고 있다.

$$F = p A C_f \quad (\text{kN})$$

- p : wind velocity pressure corresponding to appropriate design condition
- A : the characteristic area, i.e. the projection area of the solid area of the member on to a plane perpendicular to the wind direction
- C_f : the shape coefficient for the member under consideration, with reference to the wind direction and the characteristic area

ISO 4302:2016에서 풍속도압(p)은 다음 식과 같이 산정한다.

$$p = 0.625 V_s^2 \quad (\text{kPa}) \quad V_s : \text{design wind speed (m/s)} \quad \text{I}$$

ISO 4302:2016에서 풍하중에 대한 설계 조건은 in-service wind와

out-of-service wind의 두 가지로 구분하며, In-service wind에 대한 규정은 다음 그림 2.2와 같다.

The wind loading shall be applied in the least favourable direction in combination with the appropriate loads as defined in ISO 8686-1:2012, load combinations B and C.

In-service design wind speeds and corresponding pressures shall be either selected based on [Table 2](#) or specified based on the crane configuration, application and the wind conditions. The in-service design wind speed shall be documented in the operating manual of the crane.

Table 2 — In-service design wind speeds v_s and pressures p

Type of crane or application	Design wind speed v_s m/s	Design wind pressure p N/m ²
Cranes that are easily secured against wind action and which are designed for operation in light winds only (e.g. cranes of low chassis height with booms that can be readily lowered to the ground)	14	125
All normal types of crane installed in the open	20	250
Cranes in process applications, where a crane must continue to work in high winds	28,5	500

The wind speed shall be measured at the highest point of the crane. The in-service design wind speed in [Table 2](#) is based on the premise that the crane can be fully secured in an out-of-service configuration before the design wind speed is exceeded. As the means for this securing vary by crane type and configuration, the time allowance (e.g. locking devices at special locations of the crane runway, hand-operated or automatic rail clamps) shall take this into account by a lower level of wind speed chosen to start the securing. Wind speeds for the use of different crane configurations and for the starting of securing shall be specified.

그림 2.2 In-service wind 규정 (ISO 4302:2016)

그림 2.2에 나타나듯이, ISO 4302:2016에서는 In-service 조건에 대한 최대 풍속을 “풍속 20 m/s (풍속도압 250 N/m²)”으로 규정하고 있음을 알 수 있다. ISO 4302:2016에서 주목할 점은, ISO 4302:1981에서 규정되지 않았던 풍속의 측정 위치 (타워크레인의 최상단)를 규정하고 있으며, 또한 제시된 풍속 값이 초과되기 전에 타워크레인의 상태를 반드시 out-of-service 상태로 전환하여야 함을 규정하고 있다는 것이다. 특히, ISO 4302:2016에서는 제시된 풍속 값이 초과되기 전에 타워크레인을 out-of-service 상태로 전환하기 위해서는 시간이 소요될 수 있으니, 실제 작업중지 풍속은 이보다 작은 값을 적용할 필요가 있다는 언급하고 있다. 이러한 이유로 영국의 CPA Tower Crane Interest Group에서는 작업 허용 가능한 풍속의 최대 값으로 “풍속 18.5 m/s”를 사용할 것을 권고하고 있다 [ANSI Report 2016]. 한편, ISO 4302:2016에서는 ISO 4302:1981과 마찬가지로 “풍속”이 순간풍속을 의미하는지 평균풍속을 의미하는지는 별다르게 언급하지 않고 있다.

(2) FEM 1.001 (Rules for the design of hoisting appliances)

FEM(Federation of European Manufacturers of Materials Handling, Lifting and Storage Equipment)에서는 ISO 4302와 마찬가지로 타워크레인의 풍하중을 풍속도압을 이용하여 다음 식과 같이 산정하도록 규정하고 있다.

$$F = AqC_f \text{ (N)}$$

- A : the effective frontal area of the part under consideration in m^2
- q : the wind pressure corresponding to the appropriate design conditions in N/m^2
- C_f : the shape coefficient in the direction of the wind for the part under consideration

FEM 1.001에서 속도압(q)는 다음 식과 같이 산정한다.

$$q = \frac{1}{1.6} V_s^2 \quad (N/m^2)$$

V_s : design wind speed (m/s) **(3 second average wind speed) I**

FEM 1.001에서 제시하는 타워크레인의 풍하중에 대한 설계 조건은 ISO 4302와 마찬가지로 In-service wind와 Out-of-service wind의 두가지로 구분하며, 이에 대한 정의도 ISO 4302와 유사하다. FEM 1.001에서 In-service 조건에 대한 설계 풍속과 이에 대응하는 풍속도압은 다음과 그림 2.3과 같다.

Table T.2.2.4.1.2.1 In-service design wind pressure		
Type of appliance	Wind pressure in service (N/m ²)	Wind speed in service (m/s)
Lifting appliance easily protected against wind action or designed for use exclusively in light wind. Erection operations.	125	14
All normal types of crane installed in the open	250	20
Appliances which must continue to work in high winds*	500	28

그림 2.3 In-service wind 규정 (FEM 1.001)

FEM 1.001에서 제시하는 In-service wind에 대한 풍하중 산정의 경우, 단위(unit)에서 차이가 있을 뿐 전반적으로 ISO 4302에서 제시하는 것과 동일한 방법으로 풍하중을 산정하고 있으며, 풍하중 산정 시에 적용할 풍속도압도 같은 값을 사용하고 있다. 단, FEM 1.001에서 주목할 점은 설계 풍속을 WMO(World Meteorological Organization)에서 정의한 순간풍속 계측 기준인 “3초 평균 풍속(3 second average wind speed ; 3 sec. gust wind speed)”을 사용하도록 하고 있다는 것이다 [Harper et al. 2008]. 풍속을 3초 평균 풍속으로 규정한 점에 주목할 필요가 있는 것은, 실무에서 작업중지 풍속을 결정할 때 어떠한 풍속 계측 값을 적용하여야 할지를 알려준다는 점이다. 일반적으로 대부분의 타워크레인 설계 기준에서는 조합하중에 대한 구조해석 시에 정적해석(Static Analysis)을 수행하도록 하고 있다 [Shapiro and Shapiro 2011]. 따라서, 구조해석 입력 풍하중 산정 시에, 평균풍속으로 정의된 풍속을 사용하거나 또는 순간풍속으로 정의된 풍속을 사용하거나와 관계없이 해당 풍속(또는 풍속도압)에 대한 풍하중은 동일한 값이 산정된다. 그러나, 설계에서 적용된 풍속을 기준으로 현장 실무자가 작업중지 여부를 판단하고자 할 경우, 어떠한 풍속 계측 값으로 이를 판단해야 할지에 대한 혼선이 있을 수 있다. 일반적으로 계측 풍속은 풍속 평가 시간이 길수록 풍속 계측 값은 작아지는 것으로 알려져 있다 [Simiu and Scanlan 1996]. 즉, “1분 평균 풍속”이나 “10분 평균 풍속”에 비해 “3초 평균 풍속”이 더욱 큰 풍속 값을 나타낸다. 따라서, 풍속을 정의할 때 풍속 계측 시간을 고려한 풍속을 제시하지 않고 단순히 “풍속”으로만 정의할 경우, 실무에서는 어떤 풍속 계측 값을 기준으로 작업중지를 판단하여야 할지에 관해 혼선이 생길 수 있다. FEM 1.001에서는 이러한 점이 고려되어 풍속을 “3초 평균 풍속”으로 정의하였으며, FEM 1.001의 이러한 풍속에 대한 정의는 EU 기준인 EN 13001에서 계승하고 있다.

(3) EN 13001-2 (Crane safety. General design. Load actions)

EN 13001에서의 풍하중 산정 식은, ISO 4302, FEM 1.001과는 달리 In-service 조건과 out-of-service 조건에 따라 다음과 같이 각각 다른 식을 규정하고 있다. In-service 조건에 대한 풍하중 산정 식은 다음과 같다.

$$F = q(3) \times c \times A \quad (\text{In-service condition})$$

– $q(3)$: the wind pressure at $V(3)$

– A : the characteristic area of the member under consideration.

– c : the aerodynamic coefficient of the member under consideration; it shall be

used in combination with the characteristic area.

EN 13001에서 in-service wind에 대한 풍속도압($q(3)$)은 다음 식과 같이 산정하도록 규정하고 있다.

$$q(3) = 0.5 \rho V(3)^2$$

- $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ (the density of the air)
- $V(3) = 1.5 \times \bar{V}$ (the gust wind velocity averaged over a period of 3 second)
- $\bar{V}$ (the mean wind velocity, which is related to the Beaufort scale, averaged over a 10 minutes)

EN 13001에서 제시하는 in-service condition의 풍속도압 산정 시에 적용할 설계 기준 풍속은 다음 그림 2.4와 같다.

For the calculation of loads due to in-service wind it is assumed that the wind blows horizontally at a constant mean velocity $\bar{v}$ at all heights.

Depending upon the type of crane, its configuration, operation and service conditions and the specified number of out-of-service days per year, a mean wind velocity $\bar{v}$ shall be specified. Table 5 gives values of the mean velocity $\bar{v}$ for standardized wind states.

Table 5 — In-service wind states and design wind pressures

Designation	Wind State		Design wind pressures at different Wind effect levels [N/m ²]		
	Characteristic wind speeds		W1	W2	W3
	$\bar{v}$ [m/s]	$v(3)$ [m/s]	$q(3)$	$e_s \cdot q(3)$	$e_M \cdot q(3)$
Light	9,4	14	125	88	46
Normal	13,3	20	250	175	92
Heavy	18,9	28	500	350	185

Other wind states may be specified for a crane. The specification shall be based on either of the characteristic wind speeds $\bar{v}$ or $v(3)$.

The design is based on the following requirement for the operation of the crane: If the wind velocity, measured at the highest point of the crane, increases and tends to reach $v(3)$, the crane shall be secured or its configuration shall be transformed into a safe configuration. As the methods and/or means for this securing are different and need different time (locking devices at special locations of the crane runway, hand-operated or automatic rail clamps) a lower level of mean wind velocity shall be chosen to start the securing.

그림 2.4 In-service wind 규정 (EN 13001)

EN 13001의 In-service wind에 대한 풍하중 산정 시에는 풍상태(wind state)를 고려하여 설계 풍속을 적용하도록 하고 있으며, 일반적으로 고려되는 풍상태인 ‘normal’은 ISO 4302와 FEM 1.001에서의 In-service 조건에 대한 설계 풍속 및 풍속도압과 동일하다. 전술한 바와 같이, EN 13001에서는 In-service 조건에서의 풍속을 “3초 평균 풍속”으로 정의하고 있다는 점은 FEM 1.001과 동일하다. 그러나, FEM 1.001을 포함한 기존의 설계 기준들과는 달리 EN 13001에서는 3초 평균 풍속과 10분 평균 풍속과의 관계식 및 10분 평균 풍속과 Beaufort(보포트) scale과의 관계를 추가적으로 제시하고 있다는 점에서 매우 큰 차이가 있다. 그림 2.5는 EN 13001에서는 제시하는 Beaufort scale과 in-service design wind와의 상관 관계를 나타낸다. 작업중지 풍속을 판단하기 위한 실무에서의 풍속 계측은, 풍속계가 설치된 경우에는 ‘3초 평균 풍속’ 또는 ‘10분 평균 풍속’이 주로 이용되며, 풍속계가 설치되지 않았거나 또는 풍속계를 사용하기 어려운 경우에는 Beaufort scale을 주로 이용한다. 즉, EN 13001은 실무에서 작업중지 풍속을 판단하고자 할 때, 풍속 계측 방법에 따라 이를 작업중지 풍속 기준인 ‘3초 평균 풍속’으로 환산할 수 있는 방법을 제시하고 있어서, 다른 기준들에 비해 실무에서의 활용성이 매우 높은 특징이 있다.

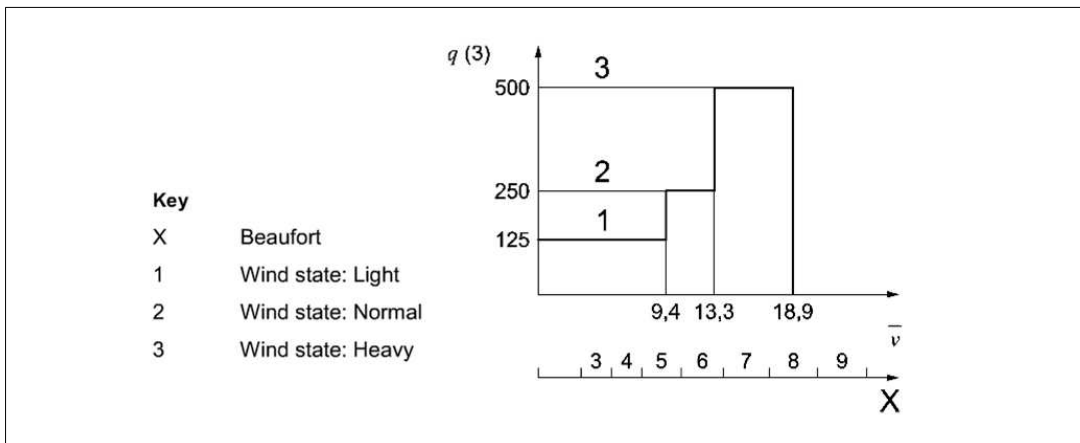


그림 2.5 In-service wind와 Beaufort scale의 관계 (EN 13001)

(4) 일본 크레인 구조 규격 (厚生労働省告示 第399号 クレーン構造規格)

우리나라의 ‘타워크레인의 구조·규격 및 성능에 관한 기준 (국토교통부 고시 제 2015-662호)’은 상당 부분이 일본의 ‘크레인 구조규격(クレーン構造規格)’과 유사하며, 따라서 일본 크레인 구조규격을 자세히 알아볼 필요가 있다. 일본 크레인 구조규격 에에서는 타워크레인의 풍하중을 다음 식과 같이 풍속도압을 이용하여 산정하도록 규정 하고 있다.

$$W = qCA \quad (\text{in N})$$

- q : 풍속도압 (N/m^2)
- C : 풍력계수
- A : 수압면적 (m^2)

일본 크레인 구조규격에서의 풍속도압은 작동상태(in-service state)와 작동중지상태(out-of-service state)로 구분하여 적용하도록 규정하고 있으며, 작동상태에 대한 풍속도압은 다음 그림 2.6에 제시된 바와 같이 구하도록 규정하고 있다.

速度圧の値は、次の表の上欄に掲げるクレーンの状態に応じて、
それぞれ同表の下欄に掲げる 式により計算して得た値とする

クレーンの状態	式
作動時	$83^{\frac{4}{h}}$
停止時	$980^{\frac{4}{h}}$
備考 この表において、 h は、クレーンの風を受ける面の地上からの高さ(単位:メートル)(高さが十六メートル未満の場合には、十六を表すものとする。	

그림 2.6 크레인 상태별 풍속도압 규정 (일본 크레인 구조규격)

일본 크레인 구조규격에서의 설계 풍하중 산정은, 독일 DIN 15018과 같이 풍속 대신 풍속도압을 이용하도록 규정하고 있으며, “3초 평균 풍속” 등과 같은 풍속 계측 기준에 대해서는 규정되어 있지 않다. 일본의 In-service 조건(즉, 작동시)에 대한 설계 풍속도압은 ISO 4302, FEM 1.001, EN 13001과는 달리 타워크레인의 설치 높이(h)에 따

라 적용할 풍속도압을 달리하도록 규정하고 있으며, 설치 높이는 최소 16 m 이상을 적용하도록 하고 있다. 일본 크레인 구조규격에서 제시하는 풍속도압 산정 공식을 바탕으로 최소 작업중지 풍속을 산정해보면 다음 표 2.4와 같이 “풍속 16 m/s”가 산정되며, ISO 4302 등의 작업중지 풍속인 “풍속 20 m/s”가 적용되는 타워크레인의 설치 높이는 “약 82 m”로 산정된다. 따라서, 일본의 경우, 타워크레인의 작업상태에 대한 설계 시 적용되는 풍하중은, 설치높이가 82 m 보다 낮은 경우에는 ISO 4302 등의 경우보다 풍하중의 크기가 작게 산정되지만, 설치높이가 82m를 초과하는 경우에는 ISO 4302 등의 경우보다 풍하중의 크기가 크게 산정됨을 알 수 있다. 즉, 일본에서는 설치 높이가 82 m 를 초과하는 타워크레인의 경우, ISO 4302, FEM 1.001, EN 13001 보다 작업상태에서 더 큰 풍하중을 견딜 수 있도록 타워크레인이 설계되지만, 설치 높이가 82 m 미만인 타워크레인은 ISO 4302 등의 경우보다 낮은 강도로 타워크레인의 설계가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

표 2.4 최소 작업중지 풍속 및 타워크레인 설치높이 계산 (일본 크레인 구조규격)

(최소 작업중지 풍속)	$q = 0.5\rho V^2 = 83\sqrt[4]{16} \quad \therefore V \cong 16(m/s)$
(풍속 20 m/s에 해당하는 설치높이)	$q = 250(N/m^2) = 83\sqrt[4]{h} \quad \therefore h \cong 82(m)$

한편, 일본의 법규정인 “크레인 등 안전규칙 제 37조의 2”에서는 ‘강풍’시 작업을 중지하도록 규정하고 있으나, 여기에서 작업중지에 해당하는 강풍의 풍속 값은 별도로 제시하지 않고 있다. 이는 일본 타워크레인 구조규격에서 타워크레인의 작동상태에 대한 설계 최대 풍속이 타워크레인의 설치 높이에 따라 달라지기 때문에 어느 한 값으로 규정하기 어렵기 때문으로 판단된다. 이에 따라 일본 후생노동성에서는, 실무에서 타워크레인 작업중지에 대한 판단 시에 적용할 풍속 값으로, 크레인 구조규격에서 제시하는 작업상태에 대한 설계 풍속의 최소 값(16 m/s)을 기준으로 하되 풍속 계측 시간을 고려하여 “10분 평균 풍속 10m/s”를 적용할 것을 별도로 규정하였다 [日本國 労働省 通達基発 第 480 号]. 앞 절에서 잠깐 설명한 바와 같이, 풍속은 계측 평균화 시간에 크게 영향을 받으며, 일반적으로 계측 평균화 시간이 길 경우에 평균풍속은 작아진다. 그림 2.6는 평균화시간이 1시간인 경우의 풍속을 기준으로 평균화시간별 최대 풍속과의 관계를 나타내는 Durst curve를 나타낸다 [Durst 1960]. Durst Curve는 계측 평균화 시간이 서로 다른 경우의 풍속 환산에 많이 사용되며, 지형 조건 등에 따라 여러 개의 다른 curve가 제시되어 있다. 그림 2.7에 제시된 Durst Curve를 기준으로 10분 평균 풍속 10 m/s를 EN 13001에서의 ‘3초 평균 풍속’으로 환산하면 약 15 m/s 이며 이는

일본 타워크레인 구조규격에서 제시하는 작업상태에 대한 설계 풍속의 최소 값에 근접함을 알 수 있다. 결론적으로 일본 후생노동성에서 별도로 규정한 타워크레인 작업중지 풍속은, 타워크레인 설계 기준에서 제시하는 작업상태에 대한 설계 풍속의 최소 값과 풍속 계측 시간을 고려하여 설정한 것으로 사료된다.

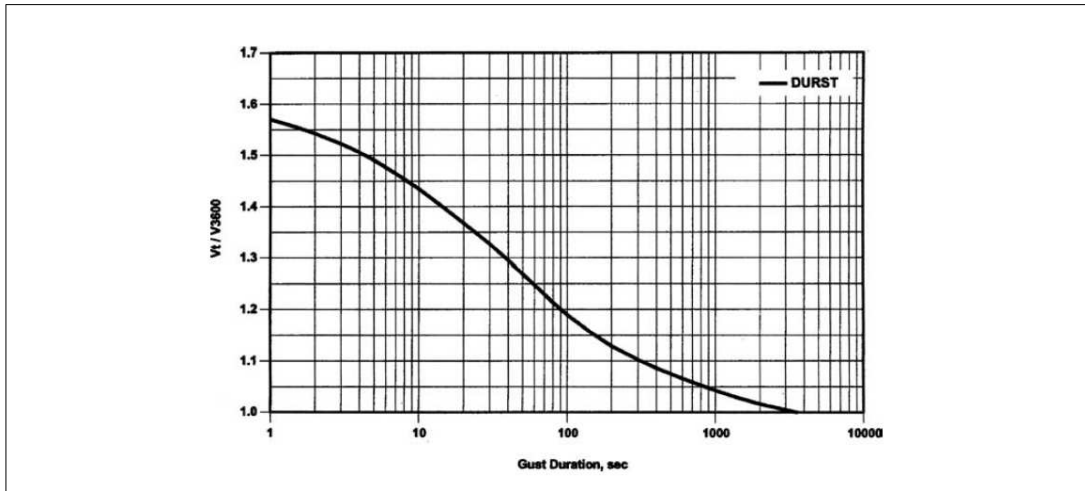


그림 2.7 Durst Curve

II.4. 국내 타워크레인 작업중지 풍속 관련 규정과의 비교 분석

국내 타워크레인 작업중지 풍속과 관련된 규정은 “산업안전보건기준에 관한 규칙”과 타워크레인 설계 기준인 “타워크레인 구조·규격 및 성능에 관한 기준”에 제시되어 있다. 국내 타워크레인 작업중지 풍속 관련 규정 분석 결과는 표 2.5에 정리하였다.

“산업안전보건기준에 관한 규칙”의 경우, 과거에는 타워크레인 작업중지 풍속으로 “순간풍속 20 m/s”로 규정하고 있었으며, 이 규정의 제정 당시에 국제 기준으로 많이 적용되는 ISO 4302, FEM 1.001 등을 준용하여 작업중지 풍속을 “순간풍속 20 m/s”로 규정하였다 [박일철 2014]. 그러나, “순간풍속 20 m/s”가 국내 현실과는 맞지 않다는 여러 실태 연구를 바탕으로 개정에 착수하였으며, 2017년 3월 3일 부로 “순간풍속 15 m/s”로 규정을 개정하여 시행하고 있다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 (고용노동부령 제 182호)

제37조(악천후 및 강풍 시 작업 중지) ② 사업주는 순간풍속이 초당 10미터를 초과하는 경우 타워크레인의 설치·수리·점검 또는 해체 작업을 중지하여야 하며, 순간풍속이 초당 15미터를 초과하는 경우에는 타워크레인의 운전작업을 중지하여야 한다. <개정 2017.3.3.>

한편, “타워크레인 구조·규격 및 성능에 관한 기준”에서 크레인 작동 조건(in-service condition)에 대한 설계 풍하중은 다음과 같이 산정하도록 규정하고 있다.

타워크레인 구조·규격 및 성능에 관한 기준 (국토교통부 고시 제 2015-662호)

제9조(타워크레인 풍하중 및 지진하중) ① 제8조제5호의 풍하중의 값은 다음 식에 의해 계산하여 얻은 값으로 한다. $W = qCA$

이 식에 있어 W, q, C와 A는 각각 다음 값을 나타내는 것이다.

W : 풍하중(kgf) {N} q : 속도압(kgf/m²) {N/m²} C : 풍력계수 A : 압력을 받는 면적(m²)

② 제1항의 속도압은 다음 각 호에서 정하는 크레인의 상태에 따른 위의 계산식에 의한다. 이 경우 설계기본 풍속은 「건축법」 제38조 및 같은 법 「건축물의 구조기준 등에 관한 규칙」 제13조의 규정에 따른다.

1. 크레인 작동시 $8.5 \times \sqrt[4]{h}$ (kgf/m²) [$83.3 \times \sqrt[4]{h}$ (N/m²)]

2. 크레인 정지시 $M \times \sqrt[4]{h}$ (kgf/m²) [$9.8 \times M \times \sqrt[4]{h}$ (N/m²)]

여기에서, $M = V^2 / 30$ V : 설계기본풍속(m/sec)

h : 크레인의 바람을 받는 면의 지상으로부터의 높이(m). 단, 높이가 16(m)미만일 때는 16으로 한다.

국내의 타워크레인 설계 풍하중 산정 기준은 일본 “크레인 구조규격”과 유효숫자에 서의 약간의 차이를 제외하고는 대부분 동일하며, 최소 작업중지 풍속 값은 약 16.3 m/s 이고, 이에 해당하는 풍속도압은 약 166 N/m^2 로 산정된다. 따라서, 국내 설계 기준으로 타워크레인을 설계할 경우, 일본과 마찬가지로 설치높이가 약 82 m 보다 높은 타워크레인의 경우는 “풍속 20 m/s” 해당하는 풍하중보다 더 큰 풍하중을 작동상태 (in-service condition)에서 견딜 수 있도록 타워크레인이 설계되지만, 이보다 낮은 설치 높이의 타워크레인은 작동상태에서 “풍속 16 m/s ~ 20 m/s”에 해당하는 풍하중을 견딜 수 있도록 설계된다. 이는 “순간풍속 20 m/s”를 작업중지 풍속으로 규정할 경우, 설치높이가 약 82 m 미만인 타워크레인은 구조적 안정성에 문제가 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 앞서 알아본 바와 같이 타워크레인 작업중지 풍속은 구조적 안전성을 확보하기 위한 설계 기준에 근간을 두고 있으며, 따라서 국내에서 운용되는 타워크레인의 구조적 안전성을 확보하기 위해서는 국내 타워크레인 설계 기준에서 제시하는 최소 설계 풍속인 “풍속 16.5 m/s”이하로 작업중지 풍속을 규정할 필요가 있다.

한편, 앞서 살펴봤듯이 타워크레인을 작업중지 상태로 전환하는데는 시간이 소요되며, 이 때문에 ISO 4302:2016 등에서는 실무에서 적용할 타워크레인 작업중지 풍속을 설계 기준 풍속보다는 낮게 설정할 것을 권고하고 있다. 또한 실무에서 작업중지 풍속을 적절하게 판단하기 위해서는 풍속 계측 시간을 고려한 작업중지 풍속의 설정이 필요하다. 일반적으로 구조물의 거동에 크게 영향을 미치는 바람은 돌풍(gusty wind)과 같이 1~3초로 짧은 순간에 부는 바람이므로 [한국풍공학회 2010; Ginger et al. 2013], 작업중지 여부를 판단할 풍속의 계측 기준은 “3초 평균 풍속”등과 같이 “순간풍속”으로 규정하는 것이 합당하다. 우리나라에서는 기상관측표준화법에 따라 “순간풍속”의 계측 기준을 “3초 평균 풍속”으로 규정하고 풍속 계측기도 이에 맞추어 제작하도록 법적으로 규정하고 있다 [기상청 고시 제 2010-9호]. 결론적으로 이러한 여러 가지 측면(즉, 설계기준과의 부합성, 구조적 안전성, 상태 전환 시간, 풍속 평가 시간)을 고려할 때, 타워크레인 작업중지 풍속을 “순간풍속 15 m/s”로 개정된 산업안전보건기준에 관한 규칙은 그 합리성이 인정된다고 볼 수 있다.

표 2.5 국내 타워크레인 작업중지 풍속 규정에 대한 분석 결과

산업안전보건 기준에 관한 규칙	타워크레인 구조·규격 및 성능에 관한 기준	비고
(작업중지 풍속) 순간풍속 15 m/s	▷ (설계 풍하중) $W = qCA$ ▷ (작동상태 설계 풍속도압) $q = 83.3 \sqrt[4]{h}$ (N/m²) (단, $h \geq 16$ m) ❖ 설계 작업중지 풍속도압(최소) : 약 166 N/m² ❖ 설계 작업중지 풍속(최소) : 약 16.3 m/s	- 기존 규정인 “순간풍속 20 m/s”는 국내 타워크레인 구조 설계 기준과 일관성이 없으나, 개정 규정인 “순간풍속 15 m/s”는 설계 기준과 일관성을 가짐. - 국내 설계 기준에서는 일본과 동일하게 작업 상태에 대한 설계 풍속이 20 m/s 이하가 될 수 있음. 따라서, 기존 규정인 “순간풍속 20 m/s”를 적용할 경우, 설계 풍속 20 m/s 이하인 타워크레인에 대해서는 구조적 안전성에 문제가 될 수 있음. - 국내 설계 기준과 동일한 일본에서는 실무에서 타워크레인 작업중지 여부를 판단할 시에 “10분 평균 풍속 10 m/s”를 적용하도록 후생노동성에서 별도로 규정. 그러나, “10분 평균 풍속 10 m/s”는 “3초 평균 풍속 15 m/s”와 계측 평균화 시간간격 측면에서 동질성이 높으나, 타워크레인이 설치된 지역의 Gust 특성에 따라서는 “10분 평균 풍속 10 m/s”가 “3초 평균 풍속 15 m/s”를 상회할 수 있으며, 또한 구조적 거동에 큰 영향을 미치는 풍속은 1~3초간의 풍속임. 따라서, “10분 평균 풍속 10 m/s”보다는 “순간풍속 15 m/s”로 규정하는 것이 보다 안전측임. - 기상관측표준화법에서는 ‘순간풍속’을 ‘3초 평균 풍속’으로 규정하고 있음. - 일반적으로 법규정은 상한선 또는 하한선을 제시하는 것이므로, 작업상태에 대한 설계 풍속의 하한선을 작업중지 풍속 규정의 상한선으로 적용하는 것이 타당함. 또한 실무에서 작업중지 상태로 전환하는데 시간이 소요됨을 감안하면, 설계 기준 작업중지 풍속의 최소 값인 “풍속 16.3 m/s” 보다 “순간풍속 15 m/s”로 작업중지 풍속을 규정하는 것이 보다 안전측임.



II.5. 소결

본 장에서는 국내/외 타워크레인 작업중지 풍속 관련 규정을 분석하고, 이를 토대로 개정 시행된 타워크레인 작업중지 풍속 규정의 합리성에 대해 알아보았다. 분석 결과, 설계기준과의 부합성/구조적 안전성/상태 전환 시간/풍속 평가 시간 등 다양한 측면에서 개정된 타워크레인 작업중지 풍속 규정(“순간풍속 15 m/s”)은 합리성이 인정되는 것으로 나타났다. 그러나, 본 장에서는 타워크레인 구조 설계 이론 등 문헌 자료에 기반하여 개정된 작업중지 풍속의 합리성을 판단한 한계가 있으며, 따라서 현장 실태나 타워크레인 거동 분석 등 보다 실제적인 자료를 바탕으로 개정된 작업중지 풍속의 타당성을 추가 검토할 필요가 있다고 판단된다.



III

타워크레인 작업중지 풍속에 대한 현장 실태 조사 및 분석



III. 타워크레인 작업중지 풍속에 관한 현장 실태 조사 및 분석

타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련 연구와 관련하여 새로이 개정된 운전작업 중지 풍속 기준에 대한 타워크레인의 작업 안정성을 검토하여 개정 작업중지 풍속 기준의 타당성을 검증하고 이로부터 개정 기준의 보완 및 합리적인 현장 운영 방안 수립에 있어서 근거자료를 얻기 위해 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 [부록 I]과 같이 설문대상에 따라 “건설사 및 건설현장용”과 “타워크레인 운전원용”의 두 종류로 제작되었고, 응답자의 기본 정보를 제외하고 각각 20개 내외의 문항으로 구성되어 있다. 설문 조사는 타워크레인 운전원과 관련 건설사 및 건설현장 관계자에게 2017년 5월 15일부터 6월 2일까지 실시하였다. 설문지 중 운전원용은 258부가 회수되었고 건설사 및 건설현장용은 197부가 회수되어 타워크레인 작업중지 풍속에 관한 현장 실태조사 및 분석에 사용되었다.

III.1. 운전원 설문조사 결과

응답자의 기본정보로서 먼저 전문성을 알아보기 위해 응답자의 타워크레인 관련 업무 경력을 조사하였고 그 결과는 그림 3.1.1과 같다. 1년 미만 경력의 응답자는 없었으며 전체 응답자중 약 86%가 10년 이상의 경력을 가지고 있었다. 특히 15년 이상의 경력을 가진 응답자는 169명으로 설문에 참여한 대부분의 응답자는 전문성을 갖춘 숙련된 운전원에 의해 설문 응답이 이루어졌음을 알 수 있었다.

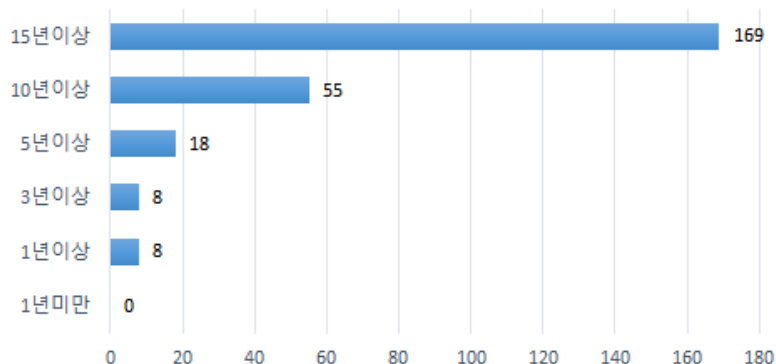


그림 3.1.1 설문 응답자의 타워크레인 업무경력

또한 현재 근무하고 있는 현장의 공사종류는 크게 4가지로 나누어 구분하였고, 참고사

향으로 소속 현장의 위치 및 종류를 질문하였다. 공사종류의 구분은 고층 건축물(주상 복합, 아파트 등), 교량 구조물, 철골 건축물(공장, 플랜트 등), 시설 구조물(광고탑, 전광판 등) 등으로 구분을 하였는데 그림 3.1.2와 같이 응답자의 대부분이 고층건축물 현장에서 현재 근무 중이었고 그 중에서 아파트 공사장이 가장 큰 비중을 보였다.

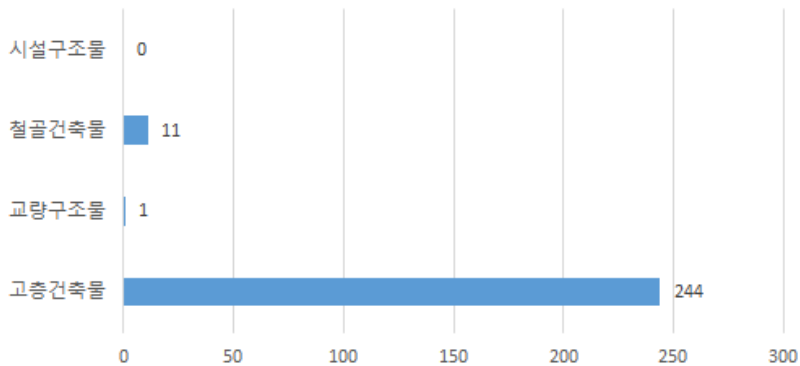


그림 3.1.2 설문 응답자의 근무현장 공사종류

다음으로는 설문에 응답한 운전원이 주로 담당하고 있는 타워크레인의 종류와 현재 근무하고 있는 현장의 타워크레인 설치높이에 대하여 조사하였고 그 결과를 그림 3.1.3과 그림 3.1.4에 도시하였다. T형, 러핑(Luffing), 토폴리스(Topless) 중 T형 타워크레인을 가장 많이 운용하고 있었고, 설치 높이는 50 m ~ 100 m의 타워크레인이 많이 사용되었는데 이는 아파트 등의 고층건축물의 비중과 부합한다. 또한 응답자가 운용하고 있는 타워크레인의 평균 설치높이는 67.8 m로 조사되었다.

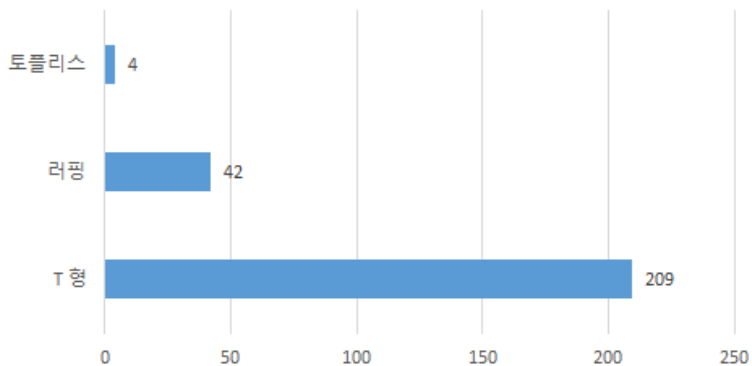


그림 3.1.3 담당 타워크레인의 종류

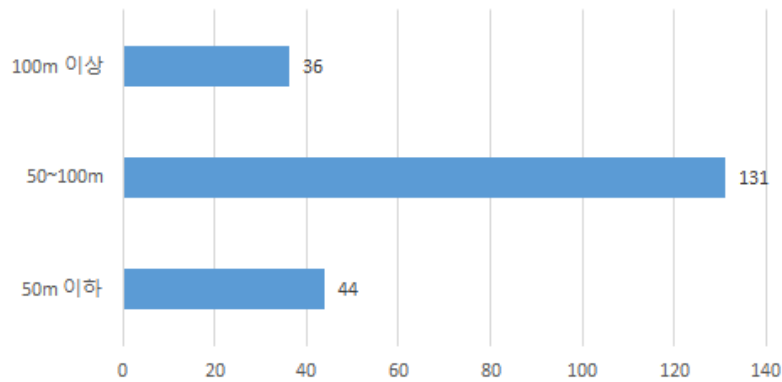


그림 3.1.4 현장 타워크레인 설치높이

위에서는 응답한 운전원의 경력과 현재 운용하고 있는 타워크레인의 특성을 살펴보았고, 이후에는 타워크레인 운전과 풍속에 대한 설문 응답결과를 정리하였다.

먼저 운전원에게 타워크레인 운전작업 중지를 결정할 때 순간풍속과 평균풍속 중 어느 기준을 보다 중요 풍속으로 판단하는지에 대하여 설문하였는데 그림 3.1.5와 같이 응답자의 34%가 평균풍속을 그리고 20%가 순간 및 평균 풍속의 조합 등 기타의견을 답하여 50% 이상이 순간 풍속이 아닌 다른 풍속 기준이 운전작업 중지를 결정하는데 중요하다고 응답하였다. 현행 법적 풍속기준이 순간풍속으로 정의되었지만 실제 운전자들의 판단기준과는 차이를 보이고 있는데 이러한 이유는 순간풍속의 정의가 정확하지 않고 모호함이 포함되어 있기 때문으로 판단된다.

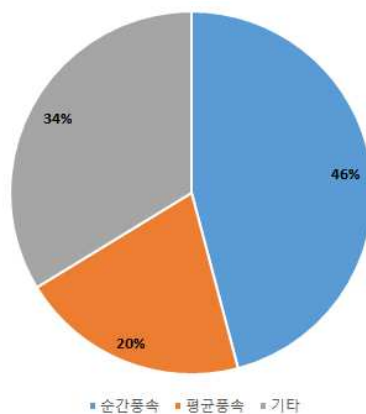


그림 3.1.5 운전작업 중지 결정에 대한 중요 풍속

현행 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 법적 풍속기준의 인지여부는 응답자의 91%가 풍속기준을 인지하고 있다고 답하였다. 최근 수개월 전에 순간풍속 15 m/s로 법적 풍속기준이 개정된 것을 비추어 보면 건설현장 안전관리자나 노동조합의 지속적인 운전원 교육이 수행되고 있음을 알 수 있다.

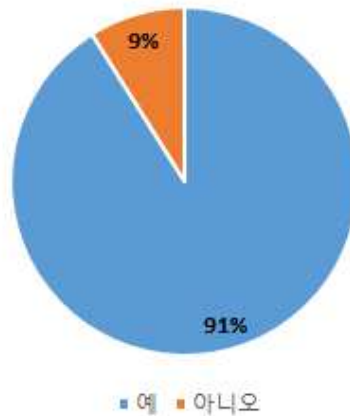


그림 3.1.6 운전작업 중지에 대한 법적 풍속기준의 인지

현재 근무하고 있는 현장의 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 풍속기준에 대한 응답 결과로 평균값은 12.65 m/s 이고, 응답 중 4개의 작업장에는 운전작업 중지에 관한 풍속기준이 전혀 없다고 답하였다. 12 m/s 속도가 응답한 최대 풍속기준 빈도수를 나타내어 평균값과 유사함을 알 수 있었고, 응답된 풍속기준 최대값은 20 m/s 그리고 최소값은 9 m/s 이었다. 따라서 현재 타워크레인을 운영하는 건설현장에서는 일반적으로 법적 풍속기준 보다 강화하여 사용하고 있음을 알 수 있었다. 또한 운전원 스스로 생각하는 타워크레인의 정상적인 운전작업이 불가능한 풍속에 대한 설문에서는 평균적으로 11.0 m/s로 답하여 현재의 건설현장 기준보다도 더 낮은 풍속기준이 요구된다고 판단하고 있었다.

앞에서와 같이 타워크레인 운전작업에서 작업중지에 대한 현장적용 풍속기준과 운전원이 생각하는 풍속기준과는 차이가 있음을 확인하였다. 최근에 개정되었지만 운전원이 생각하는 타워크레인 운전작업 중지의 합리적 법적 풍속기준에 대하여 6~18 m/s의 범위에서 3 m/s 간격으로 설문하였는데, 그림 3.1.7과 같이 대다수의 응답자가 12 m/s 와 9 m/s로 답하여 운전원의 운전작업이 불가능한 풍속에 대한 평균적인 값인 11 m/s와 일치하는 풍속을 나타내고 있고, 현행 법적 풍속인 15 m/s 보다 한층 강화된 속도 기준이 필요하다고 판단하고 있다.

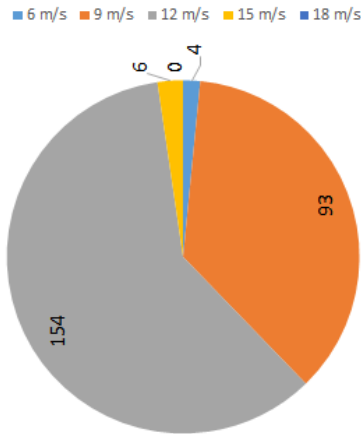


그림 3.1.7 운전원이 생각하는 작업중지 풍속기준

작업중지 풍속기준과는 별도로 실제 현장에서 타워크레인 운전 중 5가지 순간풍속에 대해 운전원이 느끼는 위험도를 조사하였고 그 결과를 그림 3.1.8에 도시하였다. 그림에서 보듯이 18 m/s와 15 m/s의 풍속에서는 매우 위험하다고 느낀다고 답하였고, 9 m/s 에서도 대체적으로 위험을 느낀다고 답하였다. 보통의 위험보다 작게 느끼는 속도는 6 m/s로서 작업중지 풍속기준과 달리 운전원의 경우 작은 풍속에도 위험을 느끼는 것으로 파악되었는데 이는 작업의 종류나 환경이 운전원마다 큰 차이가 있기 때문으로 생각된다.

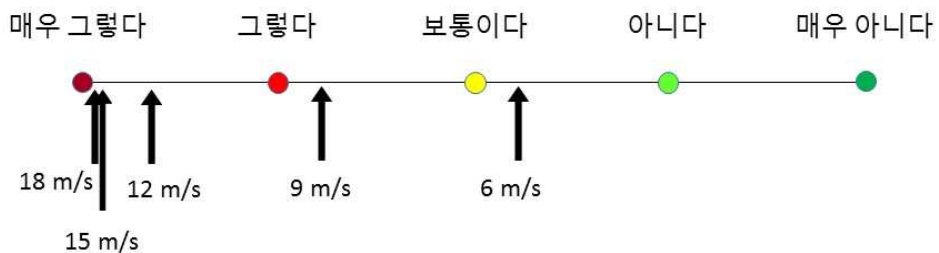


그림 3.1.8 풍속별 운전원이 느끼는 위험도

작업 종류에 따른 최대 풍속을 조사하기 위해 철근, 거푸집(갱폼 포함), 비계 등 타워크레인 운전작업 중 바람의 영향을 가장 많이 받는 작업이 무엇인지를 조사하였다. 그 결과 응답자 대부분인 95% 이상이 모두 갱폼을 포함한 거푸집으로 답하였고, 일부 의견으로는 모든 인양물 등의 의견이 있었다. 이러한 결과는 풍속에 따라 작업성이 크게 달라지는 작업은 무게에 비해 단면적이 큰 인양물 작업임을 의미한다.

현장에서 타워크레인 운전작업 중 인양와이어 탈선이나 인양물에 작업자 부딪힘과 같은 바람에 의한 사고경험이 있는지에 대해서는 54%가 있다고 답하여 약 절반 정도의 운전원이 바람에 의한 사고경험이 있음을 알 수 있었다. 또한 사고유형으로는 인양물에 작업자 충돌, 바람에 의한 협착, 거꾸집 낙하, 와이어 이탈, 갱폼 해체 작업 중 바람에 날림, 자재낙하, 원하는 위치로 작동불능 등 다양하게 응답하였다.

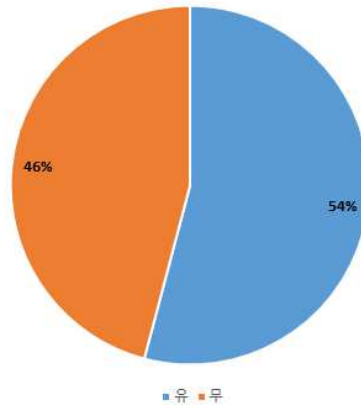


그림 3.1.9 타워크레인 운전작업 중 바람에 의한 사고경험

운전작업별 위험성을 파악하기 위해 현장에서 순간풍속이 클 때 가장 위험한 타워크레인 운전작업에 대해 설문한 결과 그림 3.1.10과 같이 선회 시, 인양상태에서 정지작업 경우, 하역 시, 인양 시 순으로 위험성이 높다고 답하였다. 이러한 결과는 인양과정이 아니라 인양상태에서의 작동과정 시 높은 순간풍속에 의해 위험성이 커짐을 의미하고 있다.

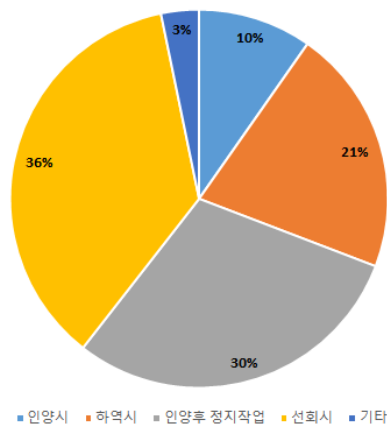


그림 3.1.10 높은 순간풍속에서 가장 위험한 타워크레인 운전작업

앞의 결과와는 반대로 실제 타워크레인 작업 중 상대적으로 가장 위험성이 낮은 인양 작업 시 작업가능한 최대풍속과 인양작업의 종류를 설문한 결과 위험성이 낮은 인양작업의 경우 파이프 단순 이동, 철근 다발 등 면적이 적은 물체 운반, 단순양중 또는 양중박스 양중 등 다양한 작업이 답변되었지만 응답자의 80% 이상이 단순 철근다발을 가장 위험성이 낮은 인양작업으로 답변하였다. 또한 이 작업 시 최대 작업가능 풍속은 평균 10.4 m/s로 답변되었다.

작업중지에 대한 과정 또는 절차에 대하여 살펴보기 위해 먼저 현장에서 바람에 의한 타워크레인 운전작업 중지의 결정을 하는 주체에 대해 설문을 수행하였는데 그 결과 그림 3.1.11과 같이 타워크레인 운전원과 현장 관계자와의 협의를 통해 가장 많은 작업중지의 결정이 이루어지고, 그 외 운전원 또는 현장 안전관리자에 의해서 결정된다.

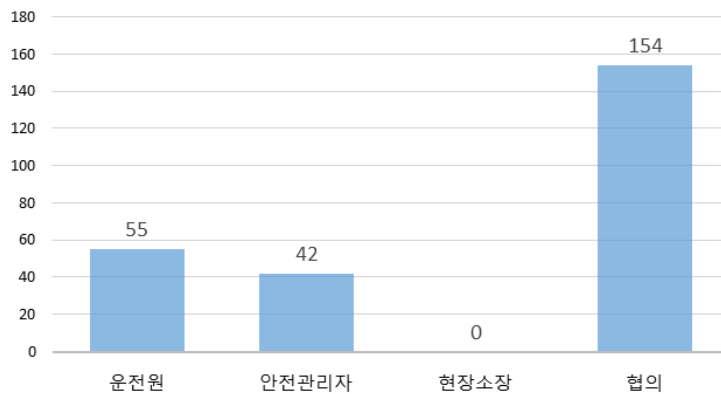


그림 3.1.11 바람에 의한 타워크레인 운전작업 중지의 결정 주체

또한 타워크레인의 “작업 중지”라는 의미를 파악하기 위해 “인양작업 중지 후 대기”와 “크레인 브레이크 등의 해제 후 내려옴” 중 운전원 본인의 인식을 설문한 결과 그림 3.1.12와 같이 두 행위 모두 유의미하게 인식되어 작업중지에 대한 보다 명확한 정의가 필요함을 알 수 있었다.

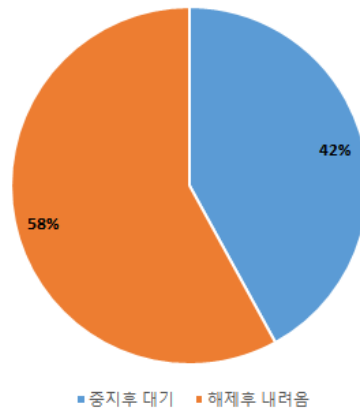


그림 3.1.12 바람에 의한 타워크레인 운전작업 중지의 의미

또한 타워크레인의 “작업 중지”후 작업재개를 위한 판단이 어떻게 이루어지는지 조사하였는데 가장 많은 응답자가 현장관계자와의 협의를 통하여 재개된다고 응답하였고, 풍속 등의 기상자료로 판단이나 타워크레인 운전원의 판단 등으로도 작업재개가 이루어짐을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 향후 작업재개에 대해서도 보다 명확한 객관적 판단기준이 필요함을 의미하고 있다.

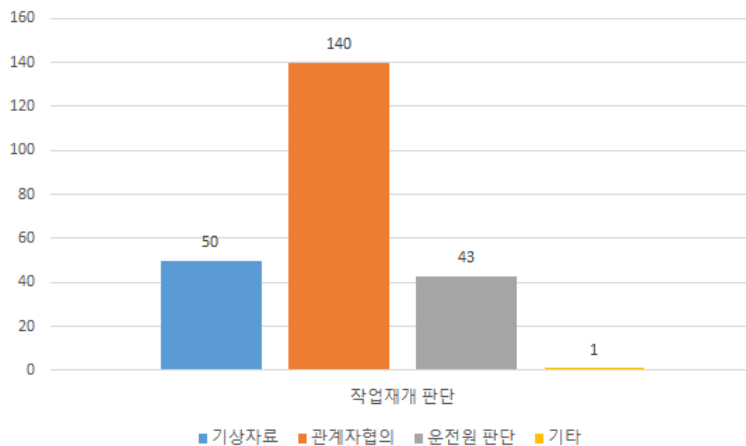


그림 3.1.13 작업재개에 대한 판단 기준

일반적으로 타워크레인은 건설사 자체의 설비가 아니라 임대가 주된 사용/설치 형태이다. 따라서 타워크레인의 제조/임대업체의 풍속기준에 대한 관심도를 알아보기 위해 현장에 설치된 타워크레인의 제조/임대 업체가 해당 타워크레인에 대한 풍속별 인양 하

중표와 같은 작업 중지 풍속에 관한 정보를 제공하는지 여부를 설문하였다. 그 결과 80% 이상의 제조/임대업체에서 작업 중지 풍속에 대한 자료를 제공하지 않았다.

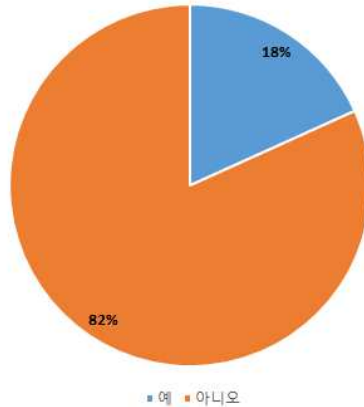


그림 3.1.14 타워크레인의 제조/임대 업체의 작업 중지 풍속에 관한 정보 제공 여부

또한 그림 3.1.14의 18%에 해당하는 타워크레인의 제조/임대 업체에서 작업 중지 풍속에 관한 정보 제공하는 경우에 이를 기준으로 작업 중지를 결정하는 경우는 약 62%였다. 이러한 결과로서 실질적으로 타워크레인의 제조/임대 업체에서 제공한 작업 중지 풍속에 관한 정보를 이용하는 경우는 전체의 약 11.2%로서 매우 미미하였다.

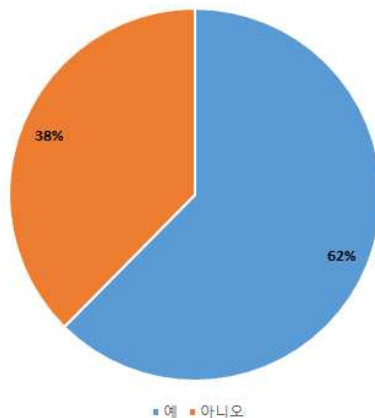


그림 3.1.15 제공된 타워크레인의 제조/임대 업체의 작업 중지 풍속에 관한 정보 이용

III.2. 건설사 및 건설현장 타워크레인 관계자 설문조사 결과

응답자의 기본정보로서 먼저 타워크레인 관련 업무경력과 현재 직급, 직책, 담당업무를 조사하였다. 응답자의 업무경력은 그림 3.2.1과 같이 1년 미만의 경력 응답자는 6%이었으며 응답자의 60%가 10년 이상, 5년 이상의 경력자로 한정하면 약 81%의 응답율을 보이고 있어 대체적으로 타워크레인 관련 업무에 상당히 오랫동안 경력이 있는 응답자로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 응답자의 담당업무와도 관련이 있는데 조사된 응답자의 담당업무는 일부 상무/부장 직책의 경우 물품조달 등 행정지원 업무도 있었지만, 그림 3.2.2에서와 같이 96% 이상이 안전관리자로서 대부분이 대리 및 과장 직급이었다.

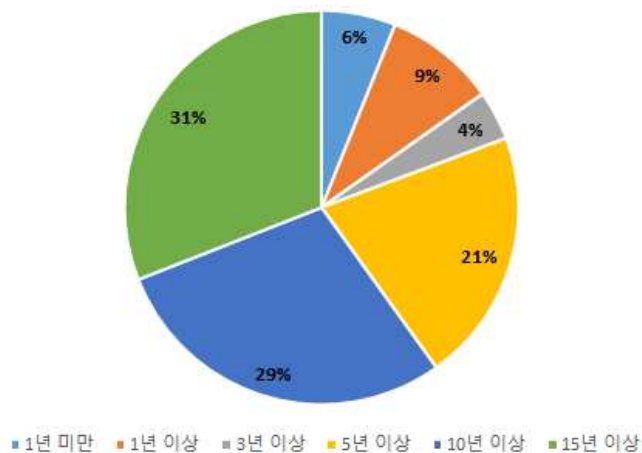


그림 3.2.1 설문 응답자의 타워크레인 업무경력

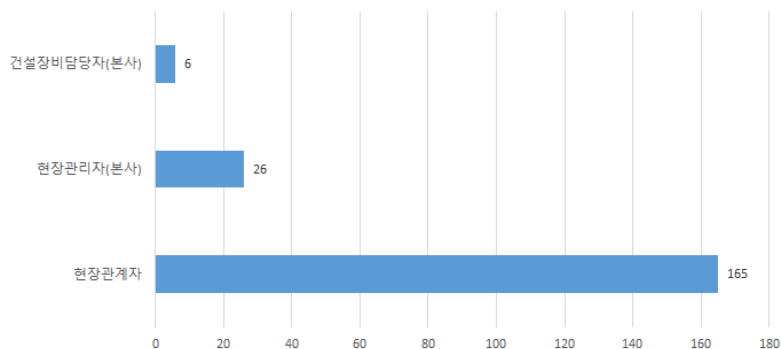


그림 3.2.2 설문 응답자의 담당업무

현재 관리하고 있는 타워크레인 현장정보 중 하나로서 설치 또는 설치예정인 타워크레인의 최대높이를 조사하였는데 응답자 평균적으로는 지상 90.4 m로 조사되었고, 최대높이 범위는 30 m ~ 187 m로 매우 편차가 컸다.

건설사 및 건설현장 관계자의 타워크레인 관련 운전중지 풍속기준에 대한 설문을 수행하였다 먼저 현행 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 법적 풍속기준을 숙지하고 있는지에 대한 조사에는 응답자 전체 중 2명을 제외하고는 모두 숙지하고 있었다.

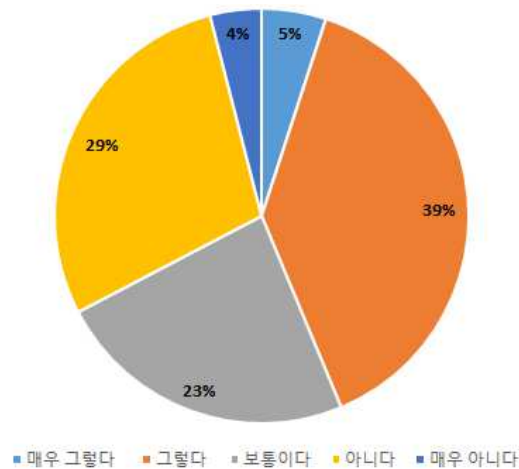


그림 3.2.3 현행 운전중지 법적 풍속기준의 적정성

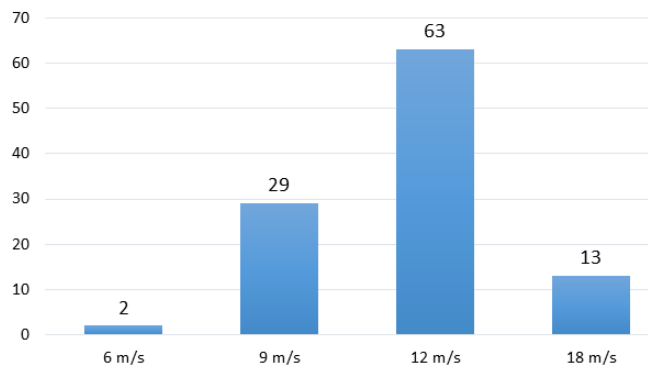


그림 3.2.4 현행 법적 풍속기준이 적정하지 않다고 생각하는 경우 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 합리적인 풍속기준

또한 현행 순간풍속 15 m/s인 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 법적 풍속기준의 적정성에 대한 설문 결과는 그림 3.2.3과 같다. 현재의 풍속기준이 대체적으로 적정하다는 답변이 39%로서 가장 다수의 응답율을 보였고, 적절하지 않다고 답한 응답율은 33%이었다. 현행 법적 풍속기준이 적정하지 않다고 생각하는 경우 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 합리적인 풍속기준을 6 m/s, 9 m/s, 12 m/s, 18 m/s로 설문한 결과 그림 3.2.4와 같이 응답자의 약 90%가 현행 풍속기준인 15 m/s 보다 낮추어야 한다고 응답하였고, 그 중에 대다수는 12 m/s를 적정 풍속기준으로 답하였다.

타워크레인의 작업중지에 대한 풍속기준을 적용하기 위해 현장에서의 풍속측정 시스템에 대한 조사를 수행하였다. 먼저 근무하고 있는 현장에 풍속계 등과 같은 풍속을 감지하는 시스템의 구축 여부를 설문한 결과 90%가 구축되어 있다고 응답하였다.

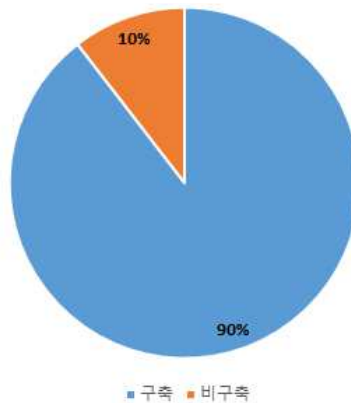


그림 3.2.5 근무 현장에 풍속 감지하는 시스템의 구축 여부

그림 3.2.5의 풍속 감지시스템이 구축되어있다는 응답자를 대상으로 두 가지의 세부적인 사항에 대해 설문하였다. 먼저 현장에 풍속을 감지하는 시스템이 구축되어 있는 위치에 대해서는 그림 3.2.6과 같이 응답자의 대부분이 타워크레인 조종실 근처에 위치하여 있다고 답하였고, 그 외에 타워크레인 권상장치 및 공사 현장에 위치하고 있어 타워크레인 자체에 풍속시스템이 부착하는 경우가 일반적으로 조사되었다. 또한 여러 개의 풍속계가 현장에 설치되어 있는 경우 작업관련 풍속기준을 어떻게 결정하는지에 대해 설문하였다. 그 결과는 그림 3.2.7과 같이 개별 타워크레인에 설치되어 있는 풍속계 속도로만 결정하는 경우와 현장 안에 설치되어있는 모든 풍속계의 속도가 허용 가능할 때 작업 하는 경우 모두 유사한 수의 사업장에서 판단기준으로 사용하고 있으며, 기타 의견으로는 중앙통제실에서 확인, 최고높이의 타워 크레인 1대 풍속계 정보로 확

인한다는 의견과 그리고 인양 자재의 형상과 무게를 고려하여 결정하는 다양한 의견이 있었다.

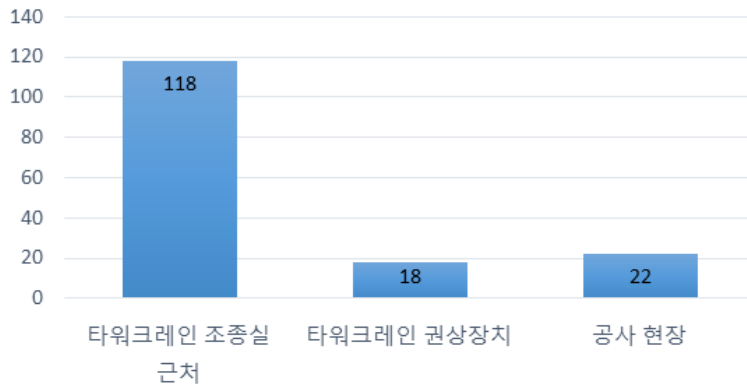


그림 3.2.6 풍속을 감지하는 시스템이 구축되어 있는 위치

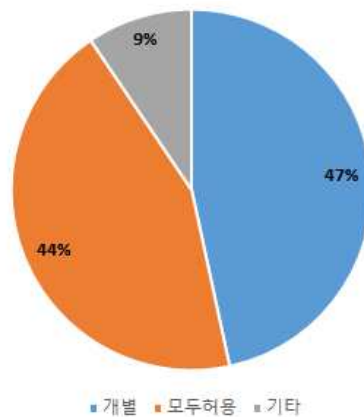


그림 3.2.7 여러 개의 풍속계가 현장에 설치되어 있는 경우 작업 풍속기준 결정

그림 3.2.5의 풍속 감지시스템이 구축되어있지 않은 경우의 응답자를 대상으로 어떤 방법으로 작업중지 풍속을 확인하시는지 설문하였다. 그 결과 휴대용 풍속계를 이용한 샘플 측정 및 하이드로/크롤러 크레인 풍속계 확인, 기상자료나 일기예보의 활용, 타워크레인 후크의 움직임으로 판단, 타워크레인 붐대에 깃발을 설치하여 그 움직임으로 판단, 그리고 타워기사의 주관적 판단 등 다양한 풍속 확인방법을 사용하고 있다고 답하였다.

건설사 및 건설현장 관계자가 근무하는 현장의 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는

풍속기준을 규정하고 있는지에 대해서는 그림 3.2.8과 같이 87%가 그렇다고 답하였다. 건설사 기준이 있는 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 풍속기준은 평균적으로 약 12.8 m/s 로 현행 법적 기준인 15 m/s보다 작았으며, 별도로 규정한 풍속기준의 참고기준은 공중별 KOSHA 지침, 산업안전보건관리 기준, 자체 건설사 기준치 (예. 거푸집 등 판형자재: 10 m/s, 철근함 등 기타자재: 12 m/s, 높이에 따른 풍량 산정표)를 참조, 그리고 타 건설현장 운영사례 등의 객관적 사실로부터 참고 기준이 있었지만 타워크레인 기사의 의견 및 인양물의 양결정하는 주관적 기준 등도 일부 존재하였다.

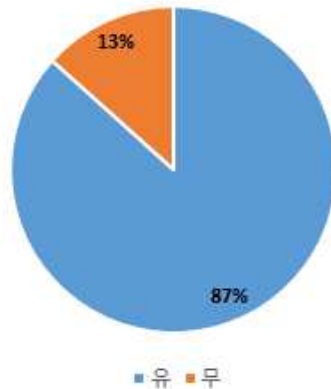


그림 3.2.8 건설현장의 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 풍속기준 규정여부

현재 현장의 타워크레인 관련 작업상황이 안전하다고 생각하는지에 대한 설문에는 그림 3.2.9에서 보듯이 8%만이 현 작업상황이 안정하지 못하다고 생각하였고 대체적으로 안정하다고 생각하는 것으로 설문결과를 얻었다.



그림 3.2.9 현재 건설현장의 타워크레인 관련 작업상황의 안전성

건설사 또는 건설현장에 타워크레인 관련하여 법적기준을 만족하는 작업지침을 수립하고 이러한 작업지침을 준수하고 있는지에 대해서는 건설사(현장)는 84%가 그렇다 이상으로 응답하여 타워크레인의 안전에 대한 중요성을 크게 인식하고 있음을 알 수 있었다.

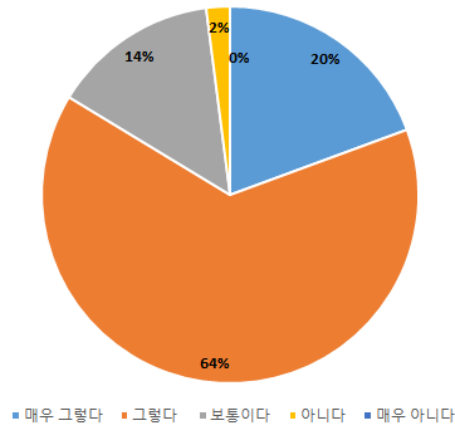


그림 3.2.10 타워크레인 관련 작업지침 수립 및 준수 여부

풍속에 따라 타워크레인의 안정성에 큰 영향을 주는 인자를 도출하기 위해 먼저 철근, 거푸집(갱폼 포함), 비계 등 타워크레인 운전작업 중 바람의 영향을 가장 많이 받는 작업에 대해서 설문을 하였다. 그 결과 응답자의 95% 이상이 갱폼을 포함한 거푸집을 가장 풍속 영향이 큰 작업으로 응답하였고, 이는 운전자와 설문조사 결과와 매우 유사하였다.

앞의 설문내용과는 반대로 실제 타워크레인 작업 중 상대적으로 가장 위험성이 낮은 인양 작업과 이 때 작업가능한 최대풍속에 대하여 설문을 실시하였다. 응답자의 대다수가 가장 위험성이 낮은 인양작업들로서 철근다발의 단순 이동 등과 같은 철근인양으로 답하였고, 일부 양중함이나 인양박스의 양중으로 답하였다. 또한 위와 같은 위험성이 낮은 작업 시 최대 작업가능 풍속의 평균은 13.5 m/s로 조사되었다.

현장에서 순간풍속이 클 때 타워크레인 운전작업 중 가장 위험한 때에 대해서 설문한 결과 그림 3.2.11과 같이 응답자의 약 50%가 “선회 시”라고 답하였고, “인양 시”, “하역 시” 그리고 “인양상태에서 정지작업 경우”가 나머지 응답자의 비슷한 비율로 답하였다.

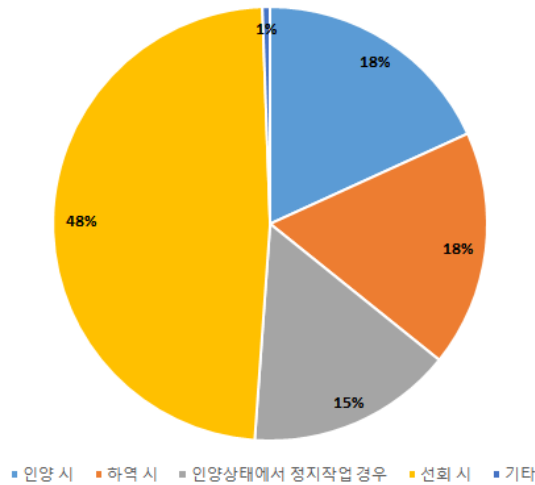


그림 3.2.11 큰 순간풍속에서 타워크레인 운전작업 중 가장 위험한 상황

다음에는 바람에 의한 작업중지들에 관한 설문 결과의 결과를 정리하였다. 먼저 업무현장에서 바람에 의한 타워크레인 운전작업 중지의 최종 결정에 대해서는 약 44%가 타워크레인 운전원과 현장 관계자와의 협의를 통해서 결정된다고 답하였고, 현장 안전관리자의 판단이 27% 였다. 그 외 운전원과 현장소장이 최종 결정한다는 응답이 14%였다.

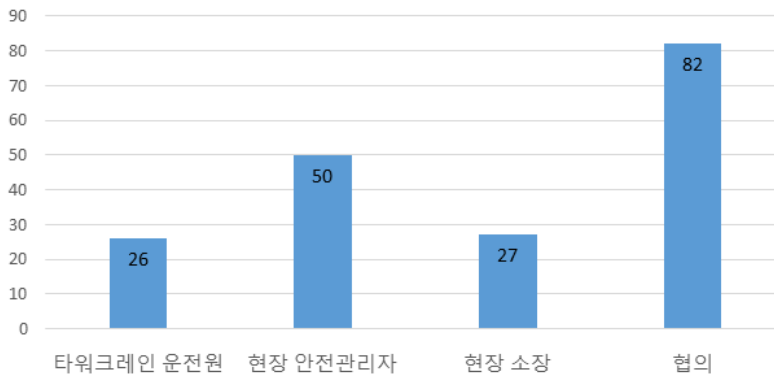


그림 3.2.12 바람에 의한 타워크레인 운전작업 중지의 최종 결정

이 때 타워크레인의 “작업 중지”란 의미를 타워크레인 브레이크 등의 해제 후 내려움을 의미한다고 하는 응답자가 70% 그리고 인양작업 중지 후 대기를 의미한다고 하는 응답자가 30% 였다.

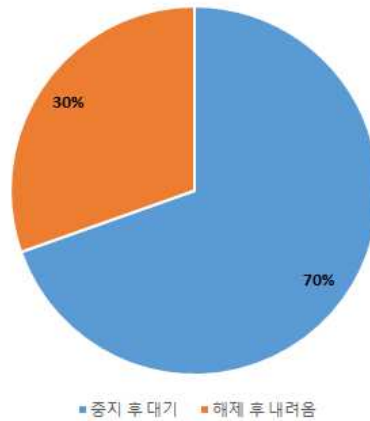


그림 3.2.13 타워크레인 작업 중지의 의미

또한 타워크레인의 “작업 중지”후 작업재개를 위한 판단 과정에 대하여 설문하였는데 그림 3.2.14와 같이 대다수의 응답자가 풍속 등의 기상자료로 판단하거나 현장관계자와의 협의로 작업재개의 판단을 하고 있는 것으로 나타났다.

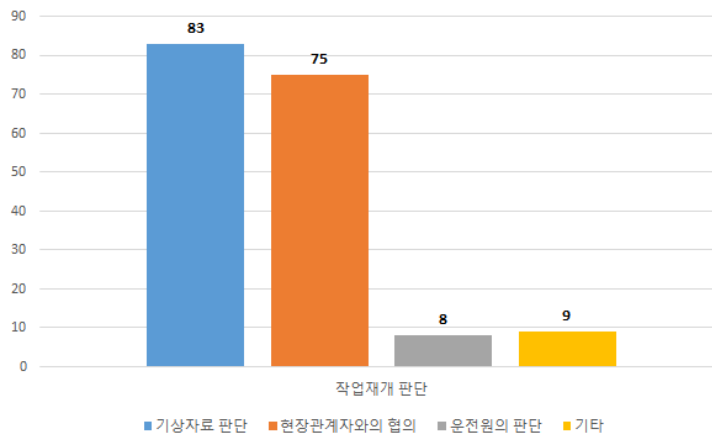


그림 3.2.14 타워크레인 작업 재개의 판단

작업중지 풍속기준이 작업손실과의 관계를 예상하기 위해 만일 타워크레인의 작업 중지에 대한 풍속기준을 현행인 15m/s 보다 낮추어 13m/s 정도로 조정하는 경우 현장의 예상 작업손실일수를 설문조사하였다. 그 결과 그림 3.2.15와 같이 현재와 동일하다는 의견이 가장 우세하였고, 10일, 31일 이상, 20 일, 30 일 순서로 조사되었다. 이러한 결과는 앞의 결과에서 현행 작업중지 최대풍속이 적절하거나 또는 보다 작아져야

한다는 설문 결과로부터 유추할 수 있다고 판단된다.

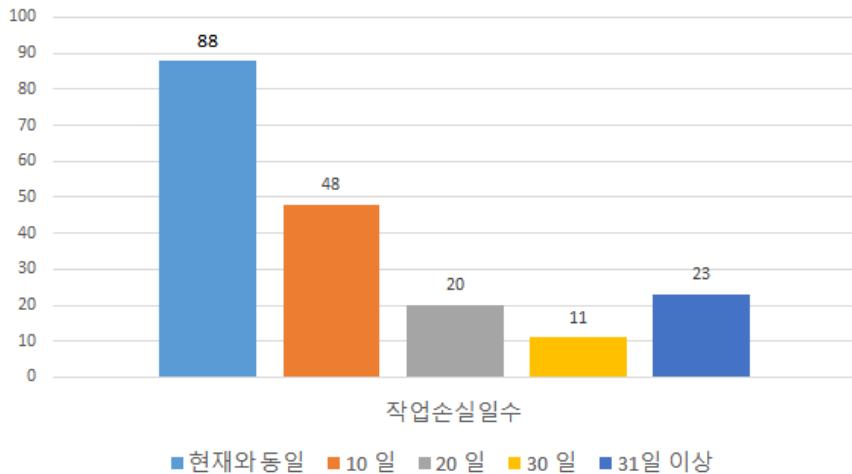


그림 3.2.15 타워크레인 풍속기준 강화(13 m/s)에 따른 예상 작업손실일수

현장에 설치된 타워크레인의 제조/임대 업체가 해당 타워크레인에 대한 풍속별 인양 하중표와 같은 작업 중지 풍속에 관한 정보를 제공하는지에 대한 여부를 설문한 결과 약 절반의 응답자가 제공한다고 답하였다. 또한 정보를 제공 받는다고 응답한 경우 제공받은 해당 타워크레인의 풍속별 인양 하중표와 같은 작업 중지 풍속에 관한 정보를 기준으로 작업 중지를 결정한다는 응답율이 82%로서 매우 높게 나타났다.

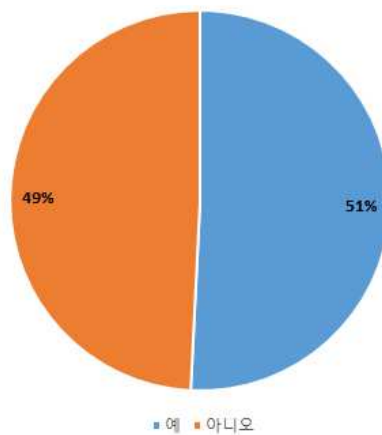


그림 3.2.16 타워크레인 제조/임대 업체의 작업중지 풍속에 관한 정보제공 여부

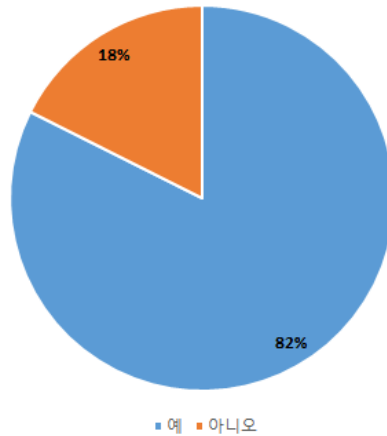


그림 3.2.17 제공받은 작업중지 풍속에 관한 정보의 이용 여부

풍속계 이외에 타워크레인 운전 안전을 위해 반드시 구비되어야 하는 기기에 대해서는 타워간 충돌방지 시스템, 사각지대 CCTV, 작업반경별 최대허용 하중 표시, Hook monitor 및 계단식 승강설비, 개별 풍속계 및 풍향계, 인양 시 무게저울(중량 게이지), 선회속도 제한장치 등 다양한 의견이 제시되었다. 이러한 의견에서도 타워크레인인 작업에 있어서 불안감 등을 해소하는 것이 매우 중요하다는 응답자의 의중을 읽을 수 있다.

III.3. 설문조사 분석

앞 절에서 수행한 설문조사의 결과로부터 운전원과 건설사/건설현장 관계자의 타워크레인 작업 중지 풍속기준에 대하여 비교하였다. 합리적인 법적 작업중지 풍속기준에 대해서는 운전원과 건설사/건설현장 관계자들에 대해서 6 m/s, 9 m/s, 12 m/s, 15 m/s, 18 m/s로 설문하였고 그 결과를 그림 3.3.1에 도시하였다. 이 그림에서 운전원의 경우는 그림 3.1.7의 결과를 이용하였고, 건설사 관계자의 경우에는 그림 3.2.3의 현행 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 법적 풍속기준의 적정성에 대한 설문 결과와 그림 3.2.4의 현행 법적 풍속기준이 적정하지 않다고 생각하는 경우에 합리적인 풍속기준 설문한 결과를 이용하여 서로 비교하였다. 그림 3.3.1에서와 같이 운전원보다 건설사 관계자들의 최대 풍속기준이 보다 높아 운전원의 경우 대부분의 응답이 9 m/s ~12 m/s 범위에 있지만 건설사의 경우 9 m/s ~15 m/s에 고루 분포되어 있음을 볼 수 있다. 최대 빈도의 응답을 또한 운전원의 경우 12 m/s이었으나 건설사 관계자의 경우에는 15 m/s로서 현행 법적 작업중지 풍속기준에 대해서 긍정적으로 판단하고 있음을 알 수 있다.

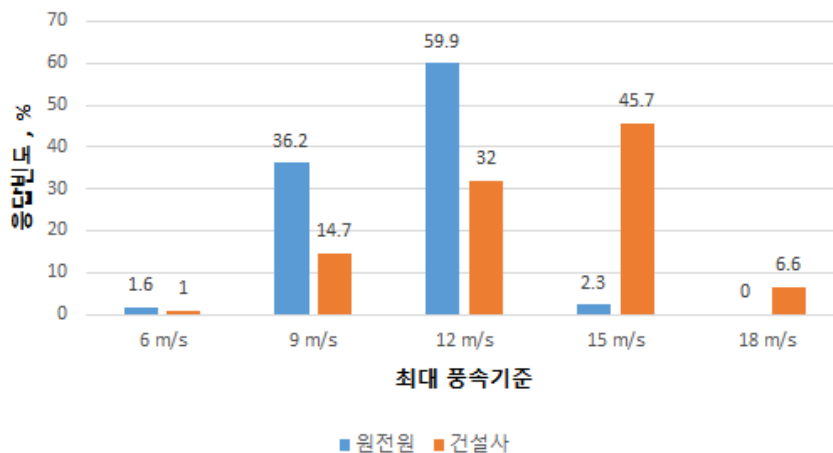


그림 3.3.1 합리적인 법적 작업중지 최대 풍속기준

그림 3.3.1의 결과를 평균한 그래프를 그림 3.3.2에 나타내었다. 합리적으로 생각하는 법적 풍속의 평균값은 건설사 관계자의 경우 13.3 m/s로서 운전원의 10.9 m/s에 비해 약 2.4 m/s 높음을 알 수 있지만 두 타워크레인 관련 직군에서 모두 현재의 법적 기준인 15 m/s에 비해 낮음을 알 수 있다.

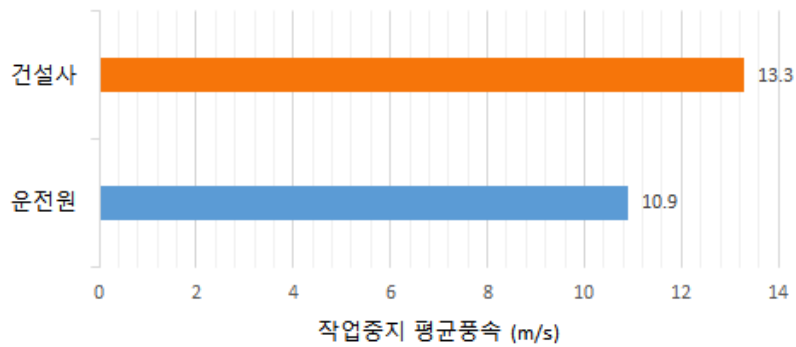


그림 3.3.2 합리적인 법적 작업중지 최대풍속 평균

현재 근무하고 있는 현장의 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 풍속기준에 대하여 운전원과 건설사 관계자에게 각각 설문한 결과의 평균 풍속은 그림 3.3.3과 같이 운전원의 경우는 12.7 m/s 그리고 건설사 관계자의 응답결과는 12.8 m/s이었다. 따라서 현재 타워크레인을 운영하는 건설현장에서는 일반적으로 법적 풍속기준 보다 강화하여 사용하고 있음을 알 수 있었다. 또한 두 응답군에서 최대풍속 평균값의 일치성은 본 설문조사가 유의미한 신뢰성을 갖는다는 하나의 증거로 사용될 수 있다.

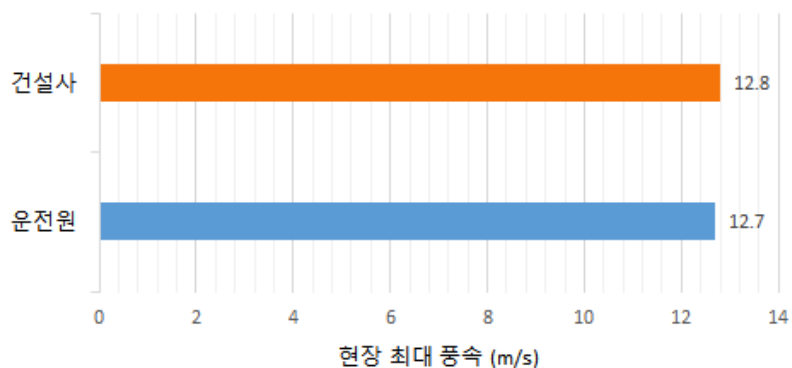


그림 3.3.3 현재 근무현장의 실제 작업중지 최대풍속 평균

3.1절의 운전원에 대한 작업중지 최대풍속 설문에서 크게 3 가지의 다른 의미의 풍속 기준을 설계하였고 그 결과를 그림 3.3.4에 도시하였다. 먼저 운전원이 생각하는 합리적인 법적 작업중지 최대풍속 평균값은 10.9 m/s로서 일반적으로 타워크레인의 정상적인 운전작업이 불가능한 풍속에 대한 설문의 평균값인 11.0 m/s와 거의 일치하였다. 이러한 결과는 운전원이 제시한 법적 풍속기준이 자신들의 경험에 의한 풍속으로부터

제시되었다는 사실을 알 수 있다. 이러한 풍속기준 평균값은 현재 현장에서 적용되고 있는 평균값인 12.7 m/s 보다 2 m/s 가까이 작으므로 현재의 상황에 대해서 불만족 의사를 반영한다고 볼 수 있다.

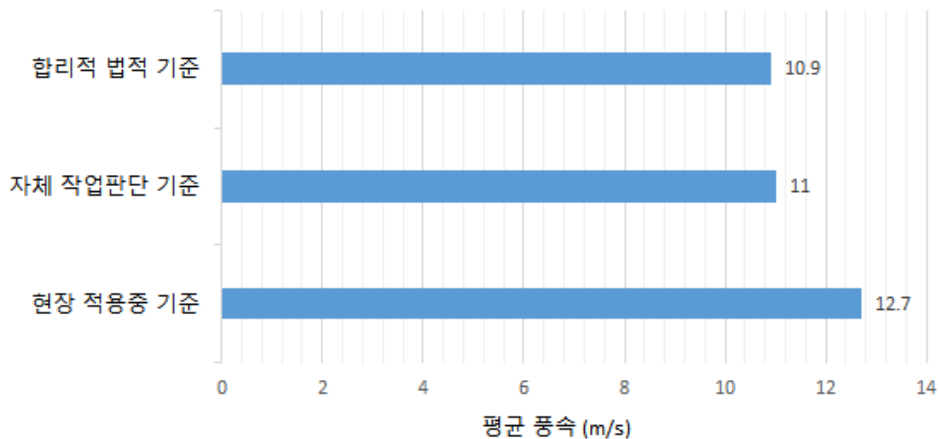


그림 3.3.4 운전원의 다양한 기준에 의한 작업중지 최대풍속 평균값 비교

이와 같이 현재의 타워크레인 작업중지에 관한 법적 풍속기준과 현장에서 사용되는 또는 종사자들이 느끼는 풍속의 차이가 존재할 뿐 아니라 타워크레인 운전원과 건설사/건설현장 관계자와의 의견도 크게 차이를 확인할 수 있었다. 이러한 차이는 설문조사의 결과와 기타 문헌들을 참고하면 크게 작업 대상/종류와 작업환경에 기인한다고 볼 수 있다.

먼저 작업 대상/종류에 대한 영향으로서 본 설문에서는 운전원과 건설사/건설현장 관계자 모두에게 타워크레인 운전작업 중 바람의 영향을 가장 많이 받는 작업에 대해서 설문을 하였다. 그 결과 두 직군 모두에서 응답자의 대부분이 갯품을 포함한 거푸집을 가장 풍속 영향이 큰 작업으로 응답하였고, 따라서 풍속에 따라 타워크레인의 안정성에 큰 영향을 주는 인자는 인양물의 면적으로서 같은 풍속에서 풍하중의 세기가 커지기 때문이다. 또한, 두 직군에서 응답율의 차이가 있었지만 현장에서 순간풍속이 클 때 타워크레인 운전작업 중 가장 위험한 작업종류는 모두 선회로 답하여 높은 높이에서의 작업이 풍속의 증가로 크게 위험을 느낄 수 있었다. 앞의 설문내용과는 반대로 실제 타워크레인 작업 중 상대적으로 가장 위험성이 낮은 인양 작업과 이 때 작업이 가능한 최대풍속에 대하여도 설문을 실시하였다. 두 직군 모두 응답자의 대다수가 철근다발의 단순 이동 등과 같은 철근인양을 가장 위험성이 낮은 인양작업으로 답하였다. 하지만 이와 같이 위험성이 낮은 작업 시 최대 작업가능 풍속의 평균은 그림 3.3.5

와 같이 운전원의 경우 10.4 m/s로 답하여 건설사/건설현장 관계자의 평균 풍속인 13.5 m/s와 큰 차이가 있었다. 이러한 차이는 주로 운전원의 심리적 불안감에 기인한다고 판단된다. 즉, 건설사 관계자의 경우는 타워크레인 구조 자체의 안전을 포함한 작업자체의 안전만을 주로 고려하고, 운전원의 경우 실제 작업 시 바람의 영향에 의한 인양물 또는 크레인의 흔들림, 높이에 따른 착시현상, 그리고 시야확보의 어려움 등의 다양한 심리적 불안감에 노출되어 이를 고려하여 결정하기 때문이다.

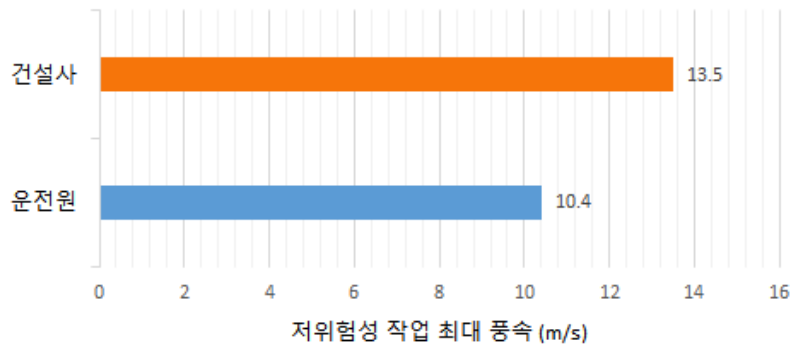


그림 3.3.5 위험성이 낮은 작업의 작업중지 최대풍속 평균값 비교

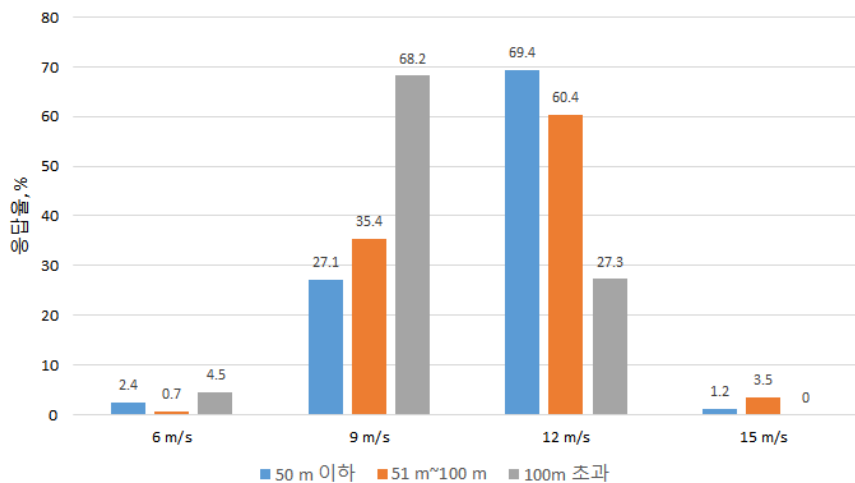


그림 3.3.6 타워크레인 설치 높이에 따른 작업중지 최대풍속 비교

작업중지 풍속에 대한 작업환경 영향에 대해서는 본 설문 목적을 벗어나 집중적인 설문과 조사를 수행하지 않았다. 기존연구에 의하면 타워크레인 저층에 비해 고층에서 작업환경의 차이를 많이 느끼는 이유로는 저층에 비해 장비의 흔들림이 심해 심리적

위축으로 작업이 어려우며 없었던 고소공포증이 발생하고 가슴통증과 고도차이로 인한 피로감 및 현기증, 바람에 따른 심리적 부담감, 고도의 집중으로 인한 어지럼증 및 두통, 시각의 제한으로 인한 불안정한 자세, 스트레스로 인한 눈의 피로감 및 집중력 저하, 안개 및 강풍으로 인한 초조함 등의 요인을 보이는 것으로 나타났으며, 더구나 운전자들은 재해가 발생할 수 있다는 정신적 불안감으로 인해 많은 스트레스를 느낀다고 보고하였다 [김대영, 2013]. 본 연구에서는 3.1절의 그림 3.1.4의 현장 타워크레인 설치높이에 대한 그림 3.1.7의 운전원이 생각하는 작업중지 풍속기준을 각각 분석하면 타워크레인 설치 높이에 따른 작업중지 풍속에 대한 결과를 얻을 수 있고, 그 결과를 그림 3.3.6에 나타내었다. 설문 풍속 중 18 m/s에 대해서는 운전원 모두가 응답하지 않았으므로 6 m/s, 9 m/s, 12 m/s, 15m/s 등 4개의 최대풍속에 대해 응답율을 비교한 결과 타워크레인 설치 높이가 높을수록 작업중지 최대풍속이 더 작아짐을 확인할 수 있다. 모든 높이에서 대부분의 응답을 한 풍속인 9 m/s와 12 m/s의 경우에 비교해보면 100 m 초과한 높이에 설치된 타워크레인 운전원의 68.2%가 9 m/s를 작업중지 최대풍속으로 응답한 반면 12 m/s의 풍속에 대해서는 50m 이하 높이의 타워크레인 운전원의 69.4%가 응답하였다. 이는 타워크레인 설치높이가 증가하면 지면에 의한 경계층 효과가 감소하여 평균 풍속이 커질 뿐 아니라 돌풍(gust)과 같은 순간적인 바람의 변화에도 노출되기 쉽다. 따라서 타워크레인 운전자가 느끼는 불안감 또한 높이에 따라 커질 것으로 판단되고, 타워크레인 작업환경 중 중요한 인자인 설치높이에 따른 운전원의 심리적 불안감을 나타내는 결과로서 인식할 수 있다.

III.4. 소결

타워크레인 작업중지 풍속과 관련하여 현장 실태조사 및 세부기준을 마련하기 위해 운전원과 건설사 관계자 모두에게 설문조사를 수행하였다. 15 m/s로 개정된 작업중지 풍속에 대해서 타워크레인 운전원과 건설사 관계자 모두 개정 법적 기준치를 숙지하고 있었다. 하지만 기존의 20 m/s에서 강화된 15 m/s의 작업중지 풍속의 타당성 또는 적정성에 대해서는 운전원과 건설사 관계자가 다른 의견을 보였다. 건설 현장 관계자의 경우 개정된 법적 작업중지 풍속이 대체적으로 적정하다고 인식하고 있는 반면 운전원의 경우에는 개정 법적 작업중지 풍속보다 낮은 풍속으로 재개정이 필요하다고 인식하고 있었다. 설문 분석결과는 운전원이 작업중지 풍속으로 타당하다고 인식하는 속도는 법 규정의 경우는 10.9 m/s 그리고 실제 타워크레인 운용시 자체 판단 기준은 11.0 m/s로서 유사하지만 현재 현장에서 운용되고 있는 기준 풍속인 12.7 m/s와는 차이가 있었다. 이와 같이 운전원이 타당하다고 인식하는 작업중지 풍속이 차이가 나는 것은, 인양물의 종류 등 작업대상의 차이에 따른 운전제어의 난이도 증가와 타워크레인 설치 높이 등 작업환경의 차이에 따른 심리적 불안감 증가 등 안전성에 대한 인지감각적 불안감이 반영되었기 때문이라고 판단된다. 따라서 개정 작업중지 풍속이 타워크레인의 실제적 안전성을 확보하기에 적정한가를 알아보기 위해서는 정적 또는 동적 구조해석 등을 통해 물리적 안정성이 확보될 수 있는지 확인할 필요가 있다. 또한 이러한 해석을 통해 운전원의 불안감을 해소할 수 있고, 작업환경의 다양성을 고려한 보다 안전한 개정 기준의 보완 및 합리적인 현장 운영 방안 수립이 가능하다.



IV

풍속에 따른 작업상태 타워크레인의 정/동적 거동 분석



IV. 풍속에 따른 작업상태 타워크레인의 정/동적 거동 분석

앞서 2장에서는 국내/외의 타워크레인 작업중지 풍속 관련 규정을 조사/분석하여, 타워크레인 작업중지 풍속의 결정 원리적 측면에서의 타당성을 분석하였다. 이로부터, 작업중지 풍속은 타워크레인의 작동상태에 대한 설계 시에 규정한 풍속(또는 풍속도압)을 바탕으로 결정된다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 국내 타워크레인 설계 기준에서 규정된 작업상태에 대한 설계 풍속의 최소 값이 “풍속 16.3 m/s” 임을 감안하면, “순간풍속 15 m/s”로 개정된 작업중지 풍속은 타당성이 있는 것으로 판단된다. 한편, 현장실무자(시공업체 관계자 및 타워크레인 운전원)를 대상으로 한 설문 조사에서는, 평균적으로 “12 m/s ~ 13 m/s”가 작업중지 풍속으로 적당하다고 인식하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 현장실무자가 타당하다고 판단하는 작업중지 풍속과 타워크레인 설계 기준적인 측면에서 타당하다고 인정되는 작업중지 풍속과는 괴리가 있는 것으로 나타났다. 따라서, 어떠한 풍속을 법적 작업중지 풍속의 기준으로 설정하여야 하는가를 판단하기 위해서는, 풍속에 따른 작업상태 타워크레인의 거동을 분석하여, 각 풍속에서의 구조적/작업적 안전성에 대해 알아볼 필요가 있다. 본 장에서는 작업상태 타워크레인에 대한 구조해석 모델을 바탕으로 풍속에 따른 작업상태 타워크레인의 정/동적 거동 해석을 수행하고, 이를 바탕으로 작업상태 타워크레인의 풍속에 따른 구조적/작업적 안전성을 분석하여, 개정된 작업중지 풍속의 타당성을 판단하고자 한다.

IV.1. 작업상태 타워크레인의 거동 해석 개요

작업상태 타워크레인의 정/동적 거동을 분석하여, 개정된 타워크레인 작업중지 풍속에 대한 구조적/작업적 안전성 측면에서의 타당성을 검토하고자 한다. 작업상태 타워크레인의 거동 해석에 적용할 풍속은 다음 표 4.1에 정리하였다. 정적(Static) 거동 뿐만 아니라 동적(Dynamic) 거동도 함께 분석하기 위해, 풍속은 순간풍속(최대)으로 고려하였으며 기상관측표준화법에서 최대 순간 풍속 계측 기준인 3초 평균 풍속(3 second gust wind speed)으로 각 풍속을 정의하였다. 정적해석 시의 각 풍속에 대한 풍하중은 국내 타워크레인 설계 기준에 따라 산정하였으며, 동적해석은 변동 풍하중에 대한 해석이 필요하기 때문에 풍속시간이력(Wind velocity history)을 바탕으로 구한 변동 풍하중을 해석 시의 입력 자료로 하였다. 풍속시간이력은 단기 변동 풍속에 대한 풍속스펙트럼(wind velocity spectrum)으로 많이 활용되는 Kaimal spectrum을 바탕으로 풍속시간이력을 생성하였으며 [Simiu and Scanlan 1996; 한국풍공학회 2010], 풍속시간이력 생성은 University of Notre Dame에서 개발한 인공풍속시간이력 프로그램인 Nows(NatHaz Online Wind Simulator)를 이용하였다[Kwon and Kareem 2006].

표 4.1. 거동 해석 대상 풍속

최대 순간 풍속 (3초 평균 풍속)	설 명
12 m/s	타워크레인 운전원 대상 설문 조사에서 적당한 작업중지 풍속으로 가장 많이 응답한 풍속
15 m/s	개정 작업 중지 풍속 (산업안전보건기준에 관한 규칙)
16.3 m/s	국내 타워크레인 설계 시 최소 작업중지 풍속 (타워크레인의 구조·규격 및 성능에 관한 기준)
20 m/s	(산업안전보건기준에 관한 규칙) 개정 이전 작업 중지 풍속

국내 타워크레인 설계 기준에서 규정한 설계 하중 조합은 표 4.2에 나타낸 바와 같이, 고정하중, 작업하중, 풍하중, 기타하중이나 [국토교통부 고시 2015-662호], 본 연구에서는 풍하중에 대한 영향을 분석하는 것이 주요한 목적이므로, 해석 시에 적용하는 하중은 고정하중과 풍하중으로 한정하였다.

표 4.2. 국내 타워크레인 설계 기준에서의 설계하중조합

구 분		설계하중조합	
		작업상태	작업중지상태
고정하중	인양하중	○	X
	크레인 자중 및 인양도구 하중	○	○
작업하중	수직동하중	○	X
	수평동하중	○	X
풍하중	작업상태 풍하중	○	X
	작업중지상태 풍하중	X	○
기타	지진하중, 열하중, 충돌하중	△	△

거동 해석 과정에서 인양하중의 모델링을 위한 인양물은, 앞서 설문 조사에서 타워크레인 사용자(시공업체)와 운전원이 공통적으로 가장 위험하다고 응답한 갱폼(gang form)을 모델링 대상 인양물로 선정하였다 (그림 4.1 참조).

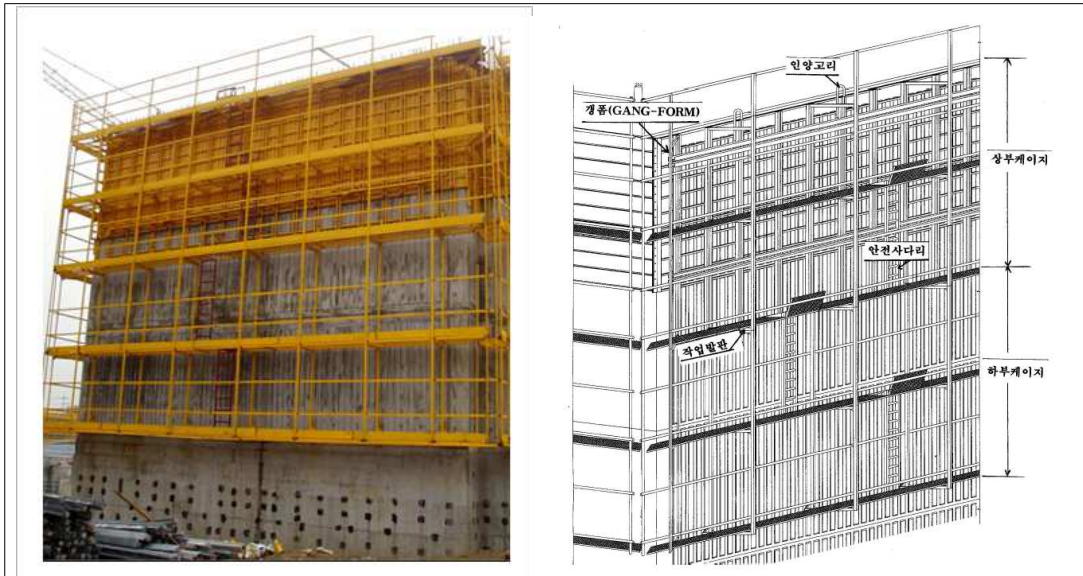


그림 4.1 Gang Form

국내 타워크레인 설계 시에 풍하중의 크기와 작용방향은, 작동상태와 작동중지 상태에 따라 다르게 적용하도록 하고 있다. 즉, 작동상태의 경우, 풍하중의 작용 방향은 풍하중의 크기가 최대가 되는 (즉, 가장 불리한 경우) 측면에서 작용하는 것을 기준으로 하고 있으며, 이 방향에 대한 풍하중의 크기 산정 시에는 타워크레인 전체 높이에서 동일한 풍속(또는 풍속도압)이 작용하는 경우를 적용하도록 하고 있다.

IV.2. 구조해석 모델링 및 해석 방법

IV.2.1) 작동상태 타워크레인의 운동방정식

작동상태의 타워크레인, 즉, 인양하중이 부과된 상태의 타워크레인에 풍하중이 작용할 경우, 크레인 본체 뿐만 아니라 인양물도 풍하중의 영향을 받는다. 따라서, 작동상태의 타워크레인에 대한 구조해석 시에는 풍하중에 따른 타워크레인 본체의 거동과 인양물의 거동을 동시에 고려하여 해석할 필요가 있다.

크레인 구조체의 동적 거동과 인양물의 동적 거동을 동시에 고려하여, 전체의 거동을 해석하는 문제는 다물체동역학(Multi-body dynamics) 해석법이 필요하며 이에 대한 많은 연구가 이루어졌다[Abdel-Rahman et al. 2003]. 특히, Ju et al.은 그림 4.2와 같이 인양물이 운동하는 경우에 대한 타워크레인의 동적 유한요소해석 모델을 제안하였다.

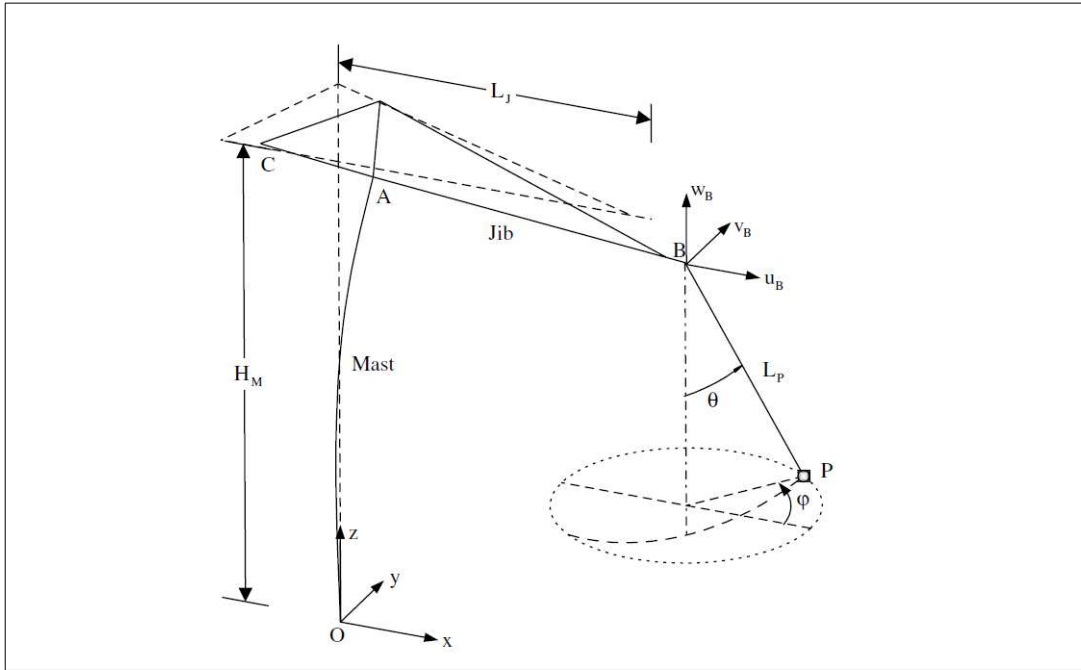


그림 4.2 인양물의 운동을 고려한 타워크레인의 거동해석 모델 (Ju et al. 2006)

그림 4.2에서 yz 평면에 대해 (또는 xz 평면) 인양물이 진자 운동(planar pendulum motion)을 하는 경우에 대한, 동적 유한요소 모델은 다음과 같이 유도 된다 [Ju et al. 2006].

$$\left[\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_p \end{matrix} \right] \begin{Bmatrix} \ddot{d}_r \\ \ddot{u}_B \\ \ddot{v}_B \\ \ddot{w}_B \end{Bmatrix} + [C] \begin{Bmatrix} \dot{d}_r \\ \dot{u}_B \\ \dot{v}_B \\ \dot{w}_B \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} d_r \\ u_B \\ v_B \\ w_B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -m_p g \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ m_p L_p (-\ddot{\theta} + \theta \dot{\theta}^2) \\ 0 \\ -m_p L_p (\theta \ddot{\theta} + \dot{\theta}^2) \end{Bmatrix} \quad (4-1)$$

$$m_p L_p \ddot{\theta} + m_p (\ddot{w}_B + g) \theta = -m_p \ddot{u}_B \quad (4-2)$$

여기에서, $[M]$, $[C]$, $[K]$ 는 각각 타워크레인 구조체의 질량 행렬, 감쇠 행렬, 강성행렬이고, m_p 는 인양물의 질량, L_p 는 인양케이블의 길이이며, u_B , v_B , w_B 는 각각 타워크레인 과 인양케이블의 연결 지점에서의 x , y , z 방향의 변위를 나타내고, d_r 은 타워크레인 구조체의 변위 벡터이며, θ 는 인양케이블의 회전변위를 나타내고, 마지막으로 g 는 중력

가속도를 나타낸다. 주어진 식에서 고차항(higher-order terms)을 무시하면, 식(4-1)과 (4-2)는 다음과 같은 선형 모델로 표현할 수 있다.

$$\left([M] + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_p \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \ddot{d}_r \\ \ddot{u}_B \\ \ddot{v}_B \\ \ddot{w}_B \end{Bmatrix} + [C] \begin{Bmatrix} \dot{d}_r \\ \dot{u}_B \\ \dot{v}_B \\ \dot{w}_B \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} d_r \\ u_B \\ v_B \\ w_B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -m_p g \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ -m_p L_p \ddot{\theta} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (4-3)$$

$$m_p L_p \ddot{\theta} + m_p (\ddot{w}_B + g) \theta = -m_p \ddot{u}_B \quad (4-4)$$

식에서 알 수 있듯이, 식(4-3)과 (4-4)는 서로 상호작용(interaction)이 있는 연성된(coupled) 모델이며, 이에 대한 해석은 일반적으로 다물체 동역학 해석법을 이용하여 수행한다.

한편, 식(4-3)과 식(4-4)를 이용한 타워크레인의 거동 분석에 관한 기존 연구에서는, 인양물의 운동이 타워크레인 본체의 거동에 미치는 영향이 크지 않음을 보인 바 있으며, 이러한 현상이 나타나는 이유는 타워크레인 본체의 고유진동수는 상대적으로 고주파수 대역에 존재하는 반면에, 인양줄에 매달린 인양물의 고유진동수는 매우 낮은 저주파수 대역에 존재하기 때문으로 분석되었다 [배형진 등 2007; 배형진 2008; 신윤석 등 2008; Park et al. 2009]. 즉, 이러한 연구 결과는 타워크레인의 거동을 나타내는 식(4-3)에서 인양물의 운동을 표현하는 오른쪽 2번째 항의 영향을 무시할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, 식(4-3)의 오른쪽 2번째 항을 무시할 경우, 식(4-3)과 (4-4)는 다음과 같이 상호작용이 없는 비연계 분리형(de-coupled) 모델로 나타낼 수 있다.

$$\left([M] + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_p \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \ddot{d}_r \\ \ddot{u}_B \\ \ddot{v}_B \\ \ddot{w}_B \end{Bmatrix} + [C] \begin{Bmatrix} \dot{d}_r \\ \dot{u}_B \\ \dot{v}_B \\ \dot{w}_B \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} d_r \\ u_B \\ v_B \\ w_B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -m_p g \end{Bmatrix} \quad (4-5)$$

$$m_p L_p \ddot{\theta} + m_p (\ddot{w}_B + g) \theta = -m_p \ddot{u}_B \quad (4-6)$$

위 식에서 알 수 있듯이, 인양물의 거동에 따른 타워크레인 본체의 거동 분석에만 초

점을 맞출 경우, 인양물의 질량 효과를 해석 모델에 반영한 식(4-5)만을 풀어내면 된다는 것을 알 수 있으며, 반대로 타워크레인 본체의 거동에 따른 인양물의 거동 분석에만 초점을 맞출 경우에는 식(4-6)만을 풀어내면 된다는 것을 알 수 있다. 식(4-5)와 (4-6)으로 주어진 분리형 모델의 장점은, 인양물의 거동을 고려한 타워크레인의 거동이나 또는 타워크레인의 거동에 따른 인양물의 거동만을 분석하고자 할 경우, 까다로운 상호작용 해석이 필요한 다물체동역학 해석법을 이용하는 대신, 일반적인 구조동역학 해석법으로 타워크레인 본체와 인양물의 거동을 각각 분리하여 해석하는 것이 가능하다는 것이다. 따라서, 본 연구에서는 해석이 까다로운 상호작용 모델 대신, 각각의 거동을 간편하게 분리하여 해석할 수 있는 식(4-5)과 식(4-6)을 이용하여, 풍속에 따른 타워크레인 본체와 인양물의 동적 거동 분석을 수행하고자 한다. 풍하중을 외력으로 포함한 모델은 다음과 같다.

$$\left([M] + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_p \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \ddot{d}_r \\ \ddot{u}_B \\ \ddot{v}_B \\ \ddot{w}_B \end{Bmatrix} + [C] \begin{Bmatrix} \dot{d}_r \\ \dot{u}_B \\ \dot{v}_B \\ \dot{w}_B \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} d_r \\ u_B \\ v_B \\ w_B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -m_p g \end{Bmatrix} + F_{wind} \quad (4-7)$$

$$L_p \ddot{\theta} + (\ddot{w}_B + g)\theta = -\ddot{u}_B + \frac{f_{ext}}{m_p} \quad (4-8)$$

IV.2.2) 해석 대상 타워크레인 및 인양물

(1) 타워크레인

풍속에 따른 작동상태 타워크레인의 거동 특성을 분석하기 위해, 타워크레인에 대한 3차원 유한요소해석 모델을 작성하고 풍하중 재하에 따른 정/동적 해석을 수행하였다. 본 과제에서의 해석 대상 타워크레인은 국내에서 많이 사용하고 있는 Liebherr사의 290HC로 선정하였다 (그림 4.3-4.5 참조). 290HC의 최대 자립고는 57.4m 이고, 최대 Jib 반경은 70 m 이며, 최대 Jib 반경에서의 허용인양하중은 3000 kgf 이다. 한편, 타워크레인의 인양하중은 Jib의 반경에 따라 변하는데, 일반적으로 반경이 커질수록 한 번에 이동시킬 수 있는 인양하중은 감소한다. 본 과제에서는 가장 불리한 경우로 판단되는 최대 Jib 반경(70 m, 허용인양하중 3,000kgf)에 대해 모델링하였다. 290HC에 대한 유한요소 모델링 및 해석은, 타워크레인 구조해석에 많이 사용하는 상용 유한요소해석 패키지인 ABAQUS를 이용하였다.

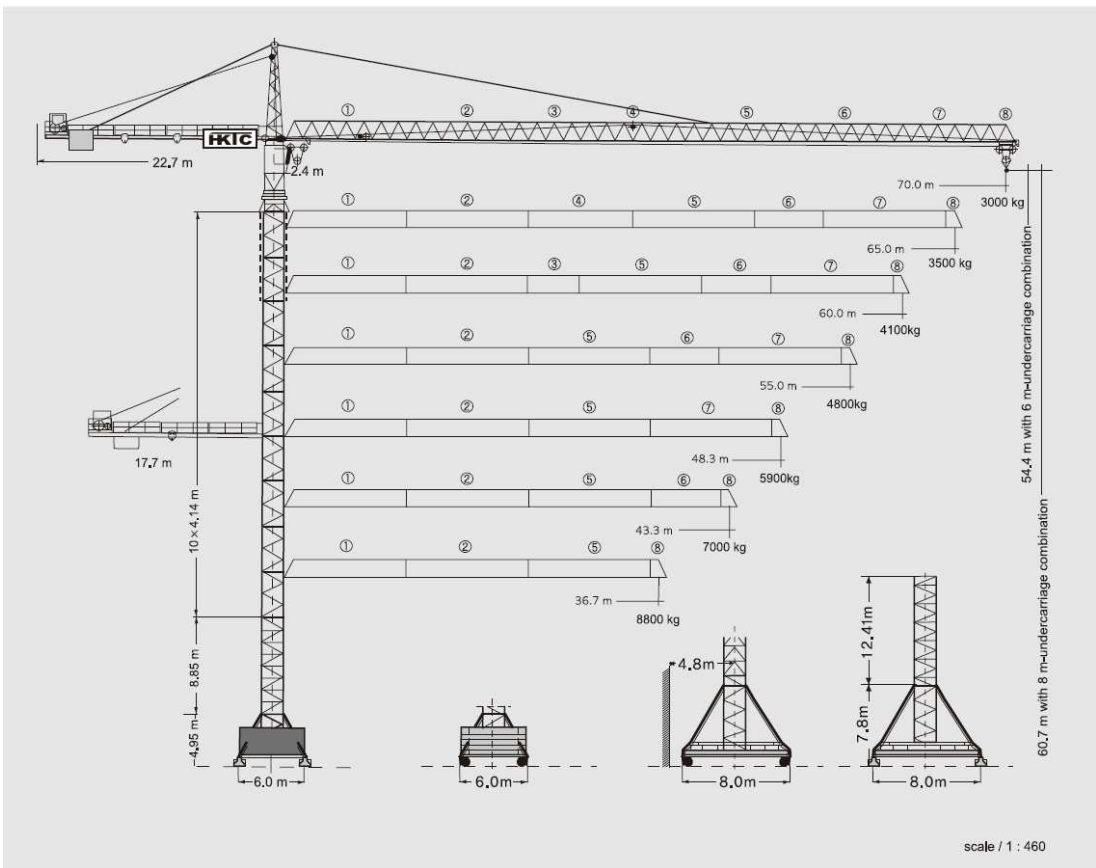


그림 4.3 290HC 타워크레인

Radius and capacity

Length of jib (Slewing radius)	MAX. Capacity	Radius and capacity																			
		25.0	28.0	31.7	34.0	36.7	38.0	40.0	42.0	43.3	45.0	48.3	51.0	53.0	55.0	57.0	60.0	62.0	65.0	67.0	70.0
m	m/kg																				
70.0 (R= 71.36)	2.2~31.7 8000	8000	8000	8000	7420	6785	6510	6130	5780	5570	5310	4870	4550	4330	4130	3950	3690	3540	3320	3190	3000
65.0 (R= 66.36)	2.2~32.5 8000	8000	8000	8000	7770	7110	6820	6420	6060	5840	5575	5110	4780	4560	4350	4150	3890	3730	3500		
60.0 (R= 61.36)	2.2~34 8000	8000	8000	8000	8000	7450	7160	6740	6360	6130	5860	5380	5030	4800	4580	4380	4100				
55.0 (R= 56.36)	2.2~35 8000	8000	8000	8000	8000	7790	7480	7045	6650	6420	6130	5630	5270	5030	4800						
48.33 (R= 49.7)	2.2~36.7 8000	8000	8000	8000	8000	8000	7820	7370	6960	6720	6420	5900									
43.33 (R= 44.7)	2.2~38 8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	7680	7250	7000											
36.67 (R= 38.0)	2.2~36.7 8000	8000	8000	8000	8000	8000															

그림 4.4. 290 HC의 Jib반경에 따른 허용인양하중



Item	Quantity	Description	This list cannot be used for the calculation of the smallest transport volume.	Length m	Width m	Height m	Unit weight kg	Total weight kg
1	2	Rail bogie with drive		1.63 ()*	0.92 (0.84)	0.95 (0.87)	1450 (1080)	2900 (2160)
2	2	Rail bogie without drive		1.37 (1.15)	0.62 (0.60)	0.95 (0.87)	1255 (800)	2510 (1600)
3	1	Support arm long		9.10 (11.95)	0.80 (0.82)	0.95 (0.80)		1650 (2200)
4	2	Support arm short		1.37 (1.15)	0.62 (0.60)	0.95 (0.87)	1255 (800)	2510 (1600)
5	2+2 2+2	Border support		5.46-5.40 (7.52-7.46)	0.11-0.18 0.10-0.17	0.16-0.38 0.10-0.38	175-525 366-912	1400 2556
6	4	Support strut		4.14 (6.55)	0.18 (0.22)	0.25 (0.25)	320 (600)	1320 (2400)
7	1	Guide section cpl		8.39	2.80	2.50		4070
8	1	Undercarriage tower section		3.73 (6.70)	2.62 (2.53)	2.62 (2.53)		2550 (3800)
9	9	Tower section		4.14	2.30	2.30	2260	20430
10	1	Slewing platform cpl. with ball slewing ring and ring support		6.24	2.74	2.57		9080
11	1	Tower head section		8.88	1.64	1.80		2560
12	1	Counter-jib head		8.06	2.42	0.92		2580
13	1	Counter-jib heel section and guying		8.44	1.77	0.92		2020
14	1	Intermediate counter-jib section		5.22	1.76	0.92		2580
15	1	Jib heel section and guying		12.02	1.84	1.96		2980
16	3	Intermediate jib section		12.02	1.63	1.87	2165 2070 1200	5435
17	2	Intermediate jib section		5.36 7.03	1.63	1.87	925 1015	1940
18	1	Intermediate jib section		10.36	1.63	1.87		1864
19	1	Jib head		2.21	1.84	1.14		330
20	1	Trolley		1.89	1.83	1.20		335
21	1	Base tower section		8.85 (12.42)	2.30 (2.30)	2.30 (2.30)		4380 (7550)
22	1	Platforms		5.00	1.50	2.00		2300
23	1	Hydraulic system, supporting and climbing cross members		2.10	1.25	1.00		800
24	1	Base tower section		12.42	2.3	2.3		5520
25	1	Hoist gear frame		2.0	3.15	1.60		2400
26	1	Crate with small parts, ropes and foundation angle irons		1.1	1.0	1.24		3000

() * : Undercarriage 8m 사용시 규격임

그림 4.5. 290 HC 타워크레인 각 요소의 제원

(2) 인양물

본 연구에서는, 풍하중에 취약한 인양물의 종류에 대한 설문 조사에서, 가장 취약한 것으로 조사된 갱폼을 해석 대상 인양물로 고려하였다. 갱폼은 그림 4.6에 나타난 바와 같이 형상이 매우 복잡하고, 또한 갱폼의 제작사 별로 조립 형태나 연결 방법이 상이하기 때문에, 실제 갱폼의 형상을 고려하여 풍하중을 산정하기가 매우 까다롭다. 따라서, 본 연구에서는 해석의 편의를 위하여, 그림 4.7과 같이 갱폼을 단순화하되 풍하중에 가장 불리한 형태인 직사각형의 판형으로 갱폼을 모델링하였다. 한편, 갱폼에 작용하는 풍하중을 산정하기 위해서는 바람을 받는 면의 면적 값이 필요하다. 국내에서 시판되는 갱폼의 면적당 중량은 50~100 (kgf/m²)이며 [신한우 등 2007], HC 290 타워크레인의 허용인양하중 3000 kgf를 50~100 kgf/m²에 적용하면, 갱폼 모델의 바람을 받는 면적은 30~60 (m²)이 된다. 본 연구에서는 가장 불리한 경우인 60 m²를 거동 해석에 적용하였으며, 이에 대한 풍력계수는 직사각형 판에 대한 풍력계수인 2.0을 적용하여 갱폼 모델에 작용하는 풍하중 산정에 이용하였다.

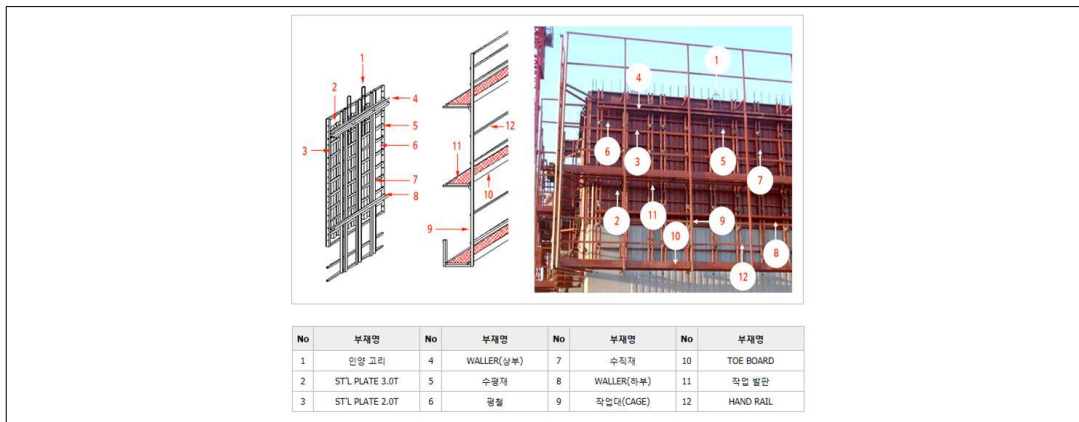


그림 4.6 Gang Form 부재도

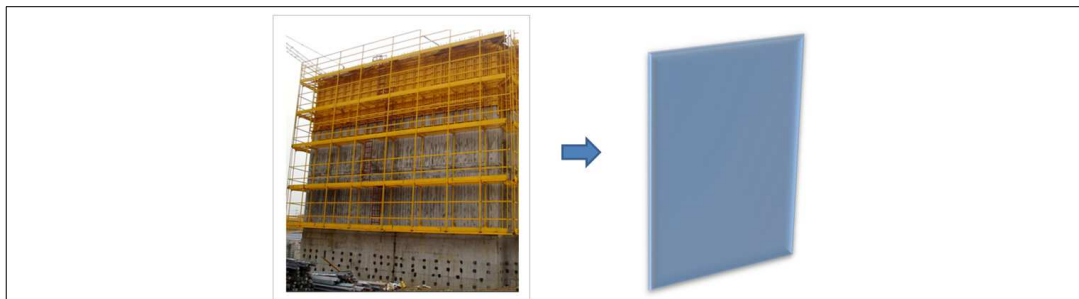


그림 4.7 Gang Form의 단순화 모델링

IV.2.3) 풍하중

본 연구에서 타워크레인과 인양물에 작용하는 풍하중의 모델링은 국내 타워크레인 설계 기준인 ‘타워크레인의 구조·규격 및 성능에 관한 기준’에서 제시하는 풍하중 산정 방법을 기준으로 하였다.

국내 타워크레인 설계 기준에서는 풍하중을 다음 식으로 구하도록 하고 있다.

$$W=qCA \quad (4-9)$$

W: 풍하중 (N) q: 풍속도압 (N/m^2) C: 풍력계수 A: 압력을 받는 면적(m^2)

여기에서 풍력계수 C는 다음 표 4.3에 제시된 값을 적용한다.

표 4.3 풍력계수

바람을 받는 면의 구분			값(C)
평면 트러스(강관제의 평면 트러스는 제외)에 의해 구성되는 면	W1	0.1미만의 것	2.0
		0.2이상 ~0.3미만	1.8
		0.3이상 ~0.9미만	1.6
		0.9이상	2.0
평면으로 구성된 면	W2	5미만	1.2
		5이상 ~ 10미만	1.3
		10이상 ~ 15미만	1.4
		15이상 ~ 25미만	1.6
		25이상 ~ 50미만	1.7
		50이상 ~ 100미만	1.8
		100이상	1.9
원통면 및 강관제의 평면 트러스에 의해 구성되는 면	W3	1미만	1.2
		1이상	0.7

이 표에서 W1, W2, W3는 각각 다음을 의미한다.

- W1 : 충실률(크레인의 바람을 받는 전면적을 당해 바람을 받는 면의 면적으로 나눈 값)
- W2 : 크레인의 바람을 받는 면의 길이를 바람을 받는 면의 폭으로 나눈 값
- W3 : 원통 또는 강관의 외경(m)에 제2항의 크레인 정지 시 속도압 값(kgf/m^2) { N/m^2 }의 제곱근을 곱한 값.

본 과제의 해석 대상 타워크레인인 290 HC의 경우, 그림 4.5와 같이 구조 부재가

평면 트러스로 구성되며 충실률이 0.1미만이므로 C의 값은 2.0으로 사용하였다.

작업상태 크레인에 대한 설계시의 풍하중의 작용 방향은 가장 불리한 경우를 적용하도록 규정하고 있다. 일반적으로 작업상태 크레인의 가장 불리한 풍하중 작용 방향은 그림 4.8과 같이 선회부(Slewing part)인 Jib의 전면부에 수직한 방향으로 바람이 불 때 타워크레인의 풍하중이 최대가 되므로, 본 연구에서는 풍방향을 Jib의 전면부에 수직한 방향으로 설정하고 타워크레인 각 부재의 바람을 받는 면의 단면적을 구하였다.

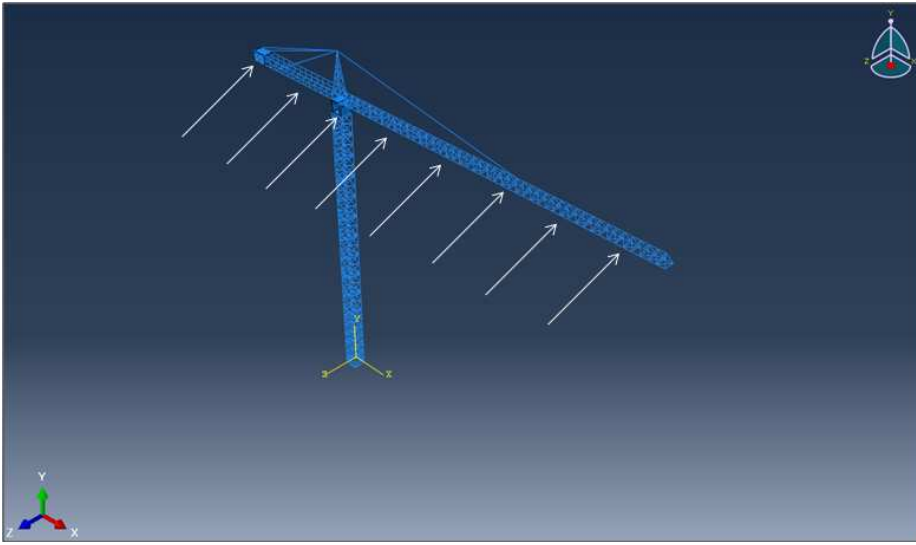


그림 4.8 작업상태 타워크레인의 가장 불리한 풍방향

한편, 식(4-9)를 이용하여 풍하중을 구하기 위해서는 풍속도압이 필요하다. 본 연구에서는 풍속에 따른 작업상태 타워크레인의 거동 분석이 목적이므로, 타워크레인 설계 기준에서 제시하는 풍속도압 산정식 대신, 풍속을 이용한 이론적인 풍속도압 산정 공식을 이용하였다[Simiu and Scanlan 1996]. 이론적인 풍속도압은 다음과 같다.

$$q = \frac{1}{2} \rho_a V^2 \quad (4-10)$$

ρ_a 는 공기밀도로서 대기압 기준으로 약 $1.25(\text{kg/m}^3)$ 이며, V 는 풍속(m/s)이다. 따라서, 표 4.1에 제시된 분석 대상 풍속의 풍속도압을 식 (4-10)를 이용하여 구하면 다음 표 4.4와 같다. 표에서 알 수 있듯이 풍속 16.3 m/s 에 대한 풍속도압은, 다음 식과 같이 국내 타워크레인 설계 기준에서 제시하는 작업상태에 대한 풍속도압의 최소 값(최소

높이 16 m 인 경우)인 166 N/m^2 과 동일한 값을 가지는 것을 알 수 있다.

$$83.3 \times \sqrt[4]{h} = 83.3 \times \sqrt[4]{16} \cong 166 (\text{N/m}^2) \quad (4-11)$$

본 연구에서는 정적해석시 풍하중을 표 4.4에 제시된 풍속도압을 적용하여 산정하였다.

표 4.4. 거동 해석 대상 풍속의 풍속도압

최대 순간 풍속 (3초 평균 풍속)	풍속도압
12 m/s	90 N/m^2
15 m/s	141 N/m^2
16.3 m/s	166 N/m^2
20 m/s	250 N/m^2

한편, 동적해석에서는 동적하중의 입력이 필요하며, 따라서 풍하중도 시간에 따라 변화하는 변동 풍하중의 입력이 필요하다. 풍속을 바탕으로 변동 풍하중을 구하기 위해서는 풍속시간이력이 필요한데, 풍속시간이력은 실측 자료를 이용하거나 또는 인공 풍속시간이력을 주로 이용한다. 본 연구에서는 인공적으로 생성된 풍속시간이력 (artificial wind velocity time history)을 이용하여 동적해석을 수행하였으며, 인공풍속시간이력은 단기변동풍속의 풍속스펙트럼으로 설계에 많이 이용되는 Kaimal Spectrum을 이용하여 생성하였다 [Simiu and Scanlan 1996]. Kaimal Spectrum을 이용한 인공풍속시간이력 생성 방법에 대한 연구가 많이 진행되었으며, 본 연구에서는 University of Notre Dame에서 개발한 인공풍속시간이력 생성 모델인 NOWS(NatHaz Online Wind Simulator)를 이용하여 인공풍속시간이력을 생성하였다. NOWS는 정상 가우스 랜덤 프로세스(stationary Gaussian random process)를 따르는 풍속시간이력을 시뮬레이션을 통해 생성하는 프로그램이며, 그림 4.9과 같이 3초 거스트 풍속(3 second gust wind speed)값과 지형 조건 등을 고려한 거스트 영향 계수 값을 입력하면 이에 대한 Kaimal Spectrum에 부합하는 풍속시간이력을 자동으로 생성한다 [Kwon and Kareem 2006].

NatHaz NOWS NatHaz On-line Wind Simulator (NOWS) : Input Interface

User Inputs : Please select options and fill out input values. [On-line Unit Converter](#)

■ Please select the unit of input values (default : Metric)
If user would like to see English unit output, please select checkbox (default : Metric)

☐ Metric(SI) unit [m, m/s] ☐ English unit [ft, mph] ☐ Output : English unit

■ Vertical (z), Horizontal (x) or 2-dimensional (x,z) locations for wind speed simulation
(Acceptable formats : Delimited by comma(,) or MATLAB-compatible, e.g., 4,8,12 or 4:4:12)

☐ z [m, ft] : z [m, ft] :
☐ x [m, ft] : z [m, ft] :
☐ x [m, ft] : z [m, ft] :

■ Total number of frequency (N), cut-off frequency (f_c).
Note that $\Delta t = 1/(2f_c)$; $T = 2 \cdot N \cdot \Delta t$ [in Ergodic SRM, $T = 2 \cdot N \cdot \Delta t$ (total number of locations)]

N (max = 18000) : f_c [Hz] (max = 5) :

■ Exposure category (A,B,C,D based on ASCE 7-98) and 3-sec gust wind speed ($U_{3s,10}$)

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D $U_{3s,10}$ [m/s, mph]

■ Wind simulation schemes

☐ Discrete frequency function with Cholesky decomposition and FFT (max 200 locations)
☐ Schur decomposition by AR model and polynomial approximation (max 100 locations)
☐ Ergodic spectral representation with Cholesky decomposition and FFT (max 50 locations)
☐ Conventional spectral representation method (max 200 locations)

그림 4.9 NatHaz On-line Wind Simulator (NOWS)

본 연구에서는 거스트 영향 계수를 ASCE 7-98에 정의된 노출범주 B와 C에 해당하는 값과 표 4.4에 제시된 풍속을 3초 거스트 풍속 값으로 하여, 0.25초 간격으로 10분간의 인공풍속시간이력을 각 풍속 조건에 대해 생성하고(그림 4.10 참조), 이를 식 (4-9)와 (4-10)에 대입하여 동적해석을 위한 변동 풍하중 입력으로 사용하였다.

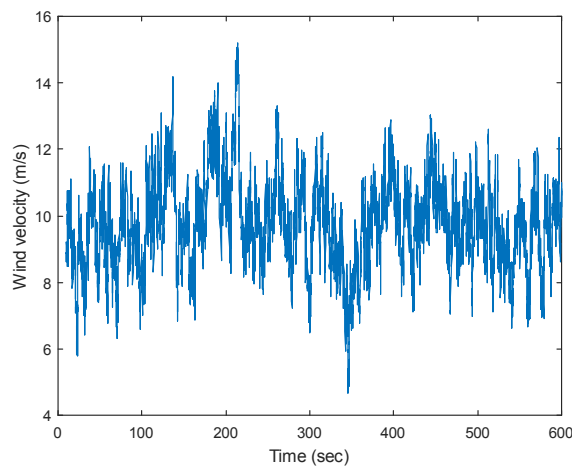


그림 4.10 인공풍속시간이력 (3초 거스트 풍속 15 m/s, 노출범주 C의 경우)



마지막으로, 타워크레인 설계 기준에서는, 작업상태 타워크레인에 대한 풍하중 산정시 풍속도압은 타워크레인의 전체 높이에 대해서 균일한 풍속(풍속도압)이 작용하는 것으로 가정하여 풍하중을 산정하도록 하고 있으며, 따라서 본 연구에서도 풍속도압은 타워크레인 전체 높이에서 균일하게 작용하는 것으로 가정하고 풍하중을 산정하였다.

IV.3. 작업상태 타워크레인의 거동 해석 및 결과 분석

본 연구에서는 식(4-7)과 (4-8)에 나타난 바와 같이, 타워크레인과 인양물의 거동을 분리하여 해석하였으며, 본 절에서는 먼저 타워크레인의 거동 해석을 수행하고, 이에 대한 결과를 비교 분석하였다.

IV.3.1) 인양하중을 고려한 타워크레인의 거동 해석

인양물을 고려한 타워크레인의 거동 해석을 위한 유한요소모델은 그림 4.11과 같다.

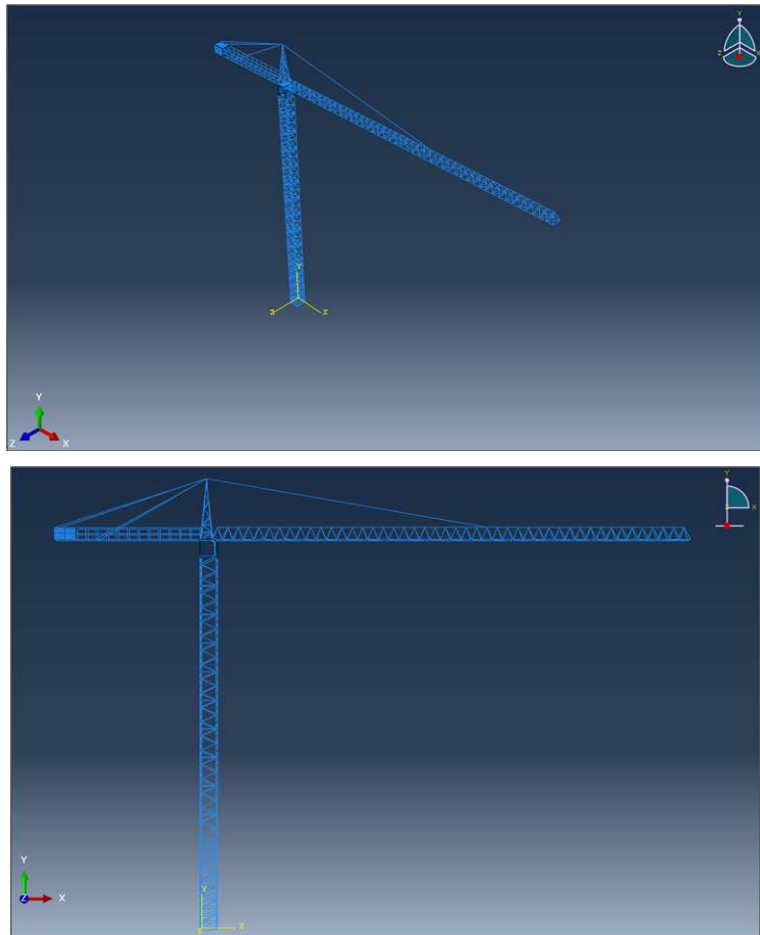


그림 4.11 해석 대상 유한요소모델 (위: 입체도, 아래: 평면도)

인양물을 고려한 타워크레인의 풍속에 따른 거동 해석 케이스는 표 4.5에 나타난 바와 같다. 국내 타워 크레인 설계 시 구조해석은 정적해석을 기준으로 하기 때문에, 모든 풍속 케이스에 대해서 정적해석을 기본적으로 수행하였다. 동적해석은 개정 작업 중지 풍속의 타당성을 분석하기 위한 목적이므로, 개정 작업중지 풍속인 15 m/s와 실무자들이 적당하다고 응답한 풍속인 12 m/s에 대해서만 수행하였다. 또한 정/동적 해석 결과의 상호 비교를 위한 기준 값은, 국내 타워크레인 설계 기준에서 규정한 작업 중지 풍속인 16.3 m/s에 대한 정적해석 결과를 기준으로 하였다.

표 4.5 인양물을 고려한 타워크레인의 거동 해석 케이스

풍속	해석 케이스	
	정적해석	동적해석
12 m/s	○	○
15 m/s	○	○
16.3 m/s (비교 기준)	○	X
20 m/s	○	X

정적해석에서 타워크레인에 작용하는 풍하중은 타워크레인 모델의 각 절점에서 풍 방향으로 작용하는 절점하중으로 처리하였으며, 갠품의 무게와 갠품에 가해진 풍하중은 Jib의 끝단 절점에서 각각 수직집중하중과 풍방향 수평집중하중으로 작용하는 것으로 처리하였다. 한편, 동적해석에서 풍하중은 모두 인공풍속시간이력으로부터 구한 동적 풍하중을 가하였으며, 갠품의 무게는 상수 값을 가진 수직집중하중으로 처리하고, 인양물에 가해진 동적 풍하중은 Jib의 끝단에 수평 집중 하중으로 가하여 해석을 수행하였다. 동적해석은 모드중첩법(mode superposition)을 이용하여 수행하였다. 모드중첩법은 직접적분법(direct integration)에 비해 계산속도가 빠르기 때문에 효율적으로 응답을 계산할 수 있으며, 선형거동을 하는 구조물의 경우 계산의 정확도도 매우 높은 것으로 알려져 있다. 또한 동적해석시 타워크레인의 감쇠계수는 강구조에 대한 동적해석에 많이 적용되는 0.05를 적용하여 해석을 수행하였다[Radoičić and Jovanović 2013].

IV.3.2) 해석 결과 및 분석

(1) 정적해석

앞서 기술한 풍하중에 대해 타워크레인의 유한요소 수치모델을 이용하여 정적해석을 수행하였다. 해석결과는 풍속에 따른 타워크레인 주요부위의 풍방향 변위와 전도모멘트를 비교하였다. 설계 기준인 풍속 16.3 m/s 에 대한 풍방향 최대 변위와 최소 변위는 그림 4.12과 같다. 그림에서 알 수 있듯이, 풍방향 최대와 최소변위는 선회부에서 나타나며, 최대 변위는 Jib의 끝단에서, 최소변위는 Ballast 부근에서 발생함을 알 수 있다.

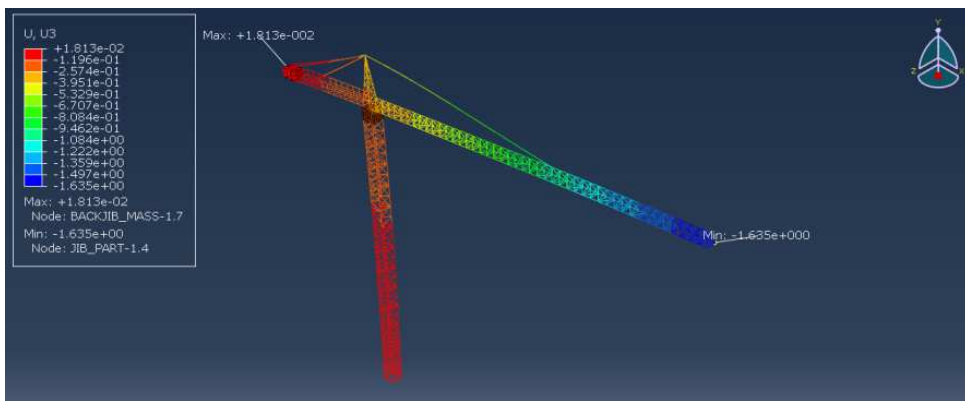


그림 4.12 풍방향 최대 및 최소 변위 위치와 값 (풍속 16.3 m/s)

타워크레인 주요 부위인 Jib의 끝단, 타워크레인 Mast 최상단, 운전석이 있는 Cab 위치에서의 풍방향 변위와 타워크레인 전체의 풍방향 전도모멘트를 풍속별로 구한 결과를 그림 4.13에 나타내었다. 변위와 전도모멘트는 풍속 16.3 m/s를 기준으로 할 때, 풍속 20 m/s 는 약 1.5 배 정도 크게 증가하는 반면에, 풍속 15 m/s와 풍속 12 m/s에서는 각각 약 0.85배, 약 0.54배로 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 설계 기준에서 제시하는 작업중지 풍속인 16.3 m/s와 비교할 때, 풍속 15 m/s와 풍속 12 m/s는 갯폼이 인양상태에 있더라도 타워크레인의 구조적인 안정성이 확보되는 것으로 판단되지만, 풍속 20 m/s에서 갯폼을 인양할 경우는 타워크레인의 구조적인 안정성을 확보하기 어려울 것으로 판단된다.

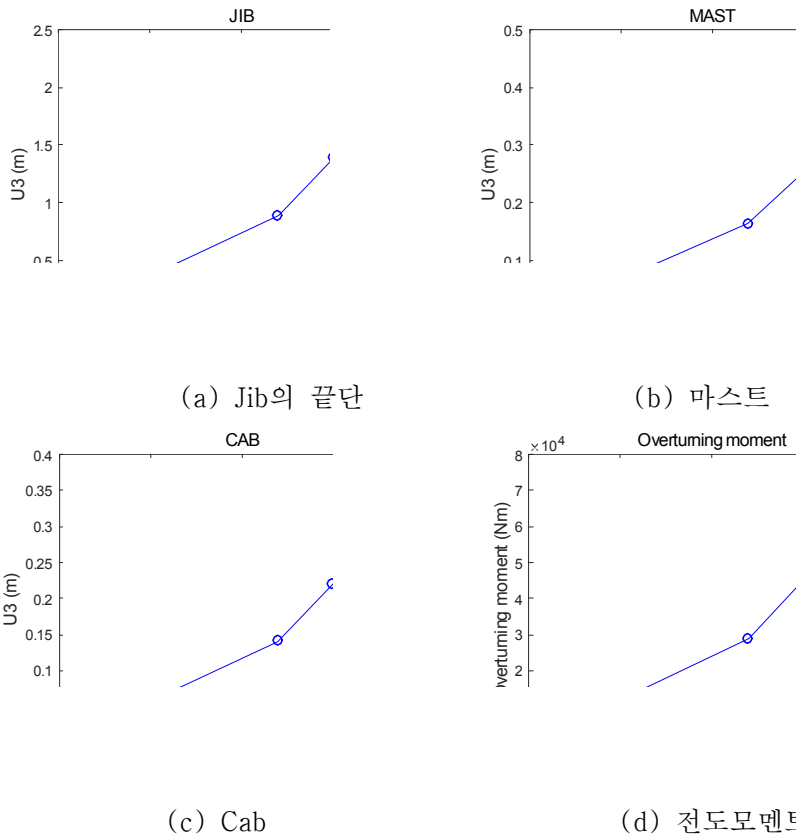
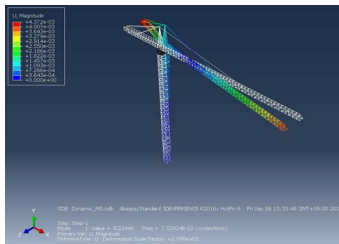


그림 4.13 타워크레인 주요위치의 풍속에 따른 풍방향 변위와 전도모멘트 (정적해석)

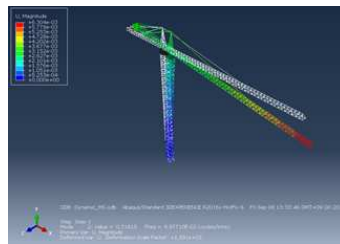
(2) 동적해석

정적해석은 풍하중의 동적인 특성을 고려하지 못하므로, 정적해석 만으로 작업상태의 타워크레인의 구조적 안정성을 판단하는 것은 한계가 있다. 타워크레인과 같이 풍하중에 취약한 구조물의 거동은 일정한 풍속이 장시간 지속되는 상황보다 돌풍(gust wind)과 같이 1~3초로 주기가 짧은 바람에 크게 영향을 받는데, 이는 타워크레인과 같은 구조물의 고유진동수가 이 부근에 있는 경우가 많기 때문이다 [한국풍공학회 2010]. 따라서, 타워크레인의 구조적 안정성을 판단하기 위해서는, 여러 주기의 성분을 포함한 변동 풍하중에 대한 구조적 거동을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 3초 거스트 풍속이 최대 12 m/s와 15 m/s 인 경우에 대하여 동적해석을 수행하고, 이에 대한 결과를 설계 기준에서 제시하는 작업중지 풍속인 16.3 m/s에 대한 정적해석 결과와 비교하였다. 동적해석 결과를 16.3 m/s 에 대한 정적해석 결과와 비교하는 이유는, 보다 보수적으로 결과를 비교하기 위해서이다.

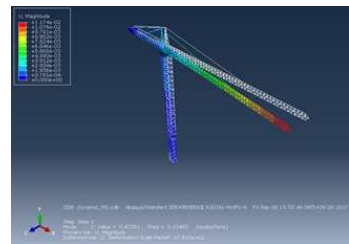
본 동적해석에서는 타워크레인이 풍하중 하에서 선형거동을 보인다고 가정하고, 모드 중첩법(mode superposition)을 이용하여 시간이력 응답을 계산하였다. 모드 중첩법은 직접적분법(direct integration)에 비해 계산속도가 빠르기 때문에 타워크레인 같은 복잡한 구조에 대해서도 효과적으로 응답을 계산할 수 있으며, 선형거동을 하는 구조물의 경우 계산의 정확도도 매우 높은 것으로 알려져 있다. 모드 중첩법을 이용한 해석에서 일반적으로 사용하는 모드감쇠(modal damping)를 가정하였고, 감쇠비는 0.05로 지정하였다 [Radoičić and Jovanović 2013]. 본 해석에서는 총 10개의 모드가 고려되었으며, 그림 4.14에 9번째까지의 모드를 대표적으로 나타내었다.



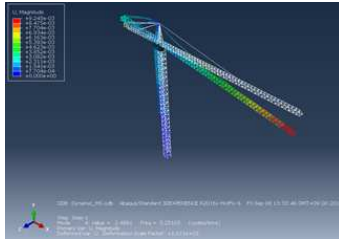
(a) 1차 모드 (0.075 Hz)



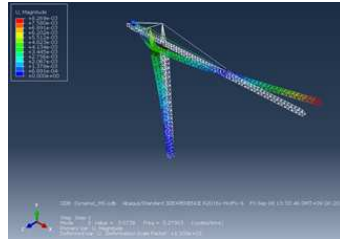
(b) 2차 모드 (0.090 Hz)



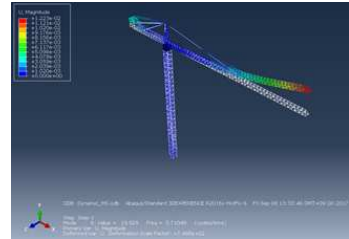
(c) 3차 모드 (0.105 Hz)



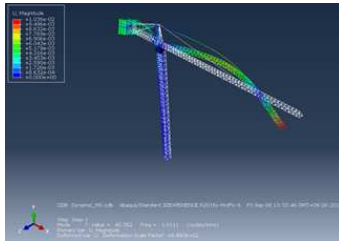
(d) 4차 모드 (0.251 Hz)



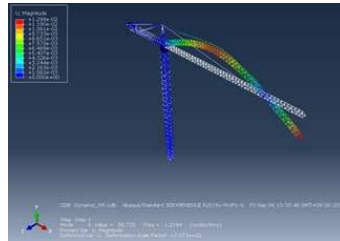
(e) 5차 모드 (0.279 Hz)



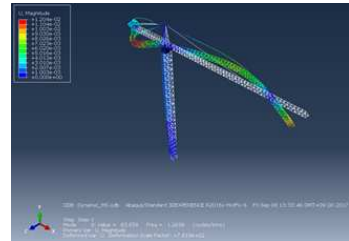
(f) 6차 모드 (0.711 Hz)



(g) 7차 모드 (1.011 Hz)



(h) 8차 모드 (1.219 Hz)



(i) 9차 모드 (1.270 Hz)

그림 4.14 동적해석의 모드 중첩법에 고려된 모드

3초 거스트 풍속 12m/s, 15m/s 인 변동 풍속에 대한, 타워크레인 주요 부위의 풍방향 변위와 전도모멘트의 동적해석 결과는 그림 4.15에 최대치와 함께 나타내었다.

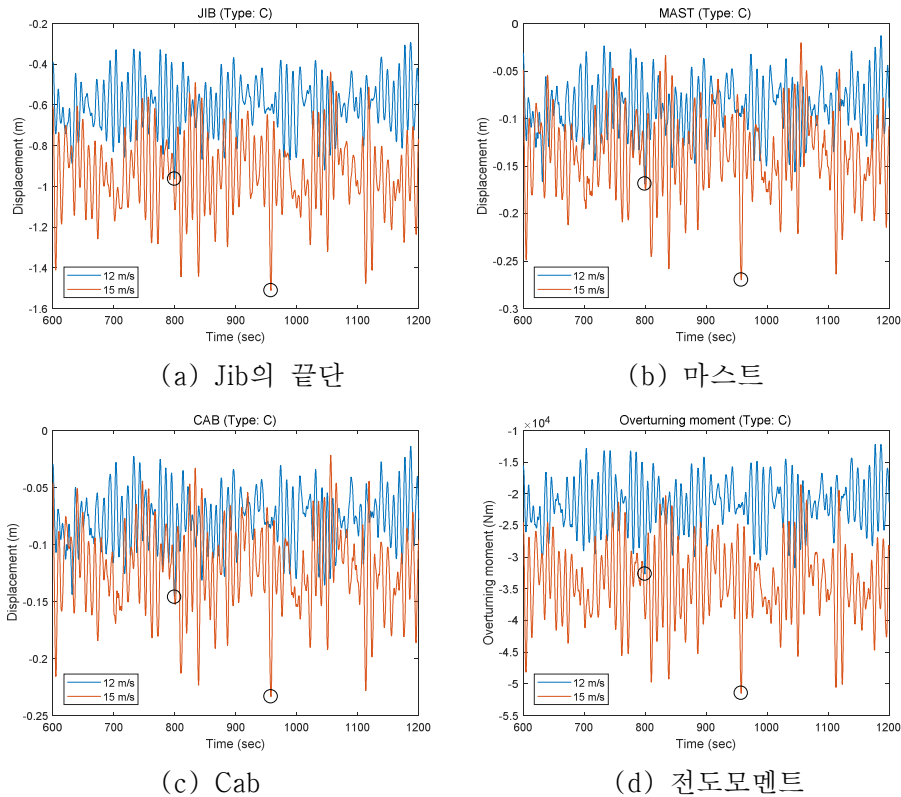


그림 4.15 타워크레인 주요위치의 풍방향 변위와 전도모멘트 (동적해석)

Jib의 끝단에서 측정된 시간이력 변위와 가속도 응답의 입력하중(풍하중)에 대한 주파수 응답함수(frequency response function)를 계산하였다(그림 4.16). 주파수 응답함수에서 변위의 경우 2차 모드에, 가속도의 경우 2차와 4차 모드가 가장 큰 peak을 가지므로, 랜덤하중 형태의 풍하중이 지배적일 경우 진동의 대부분의 에너지는 이 두 고유모드에 집중될 것임을 알 수 있다. 변위 응답의 경우, 2차 모드의 모드형상은 그림 4.14에 나타난 바와 같이, 풍방향으로 Mast의 1차 휨모드(bending mode)와 Mast-Jib의 1차 비틀림모드(torsional mode)가 합성된 형태로, 입력하중에 대한 거시적인 거동으로 타당하다고 판단된다. 또한, 가속도 응답의 경우도 1.5Hz 이상은 노이즈 응답으로 판단되는데, 이는 해석에서 고려한 10개의 모드의 고유주파수가 모두 1.5Hz 미만이기 때문이다.

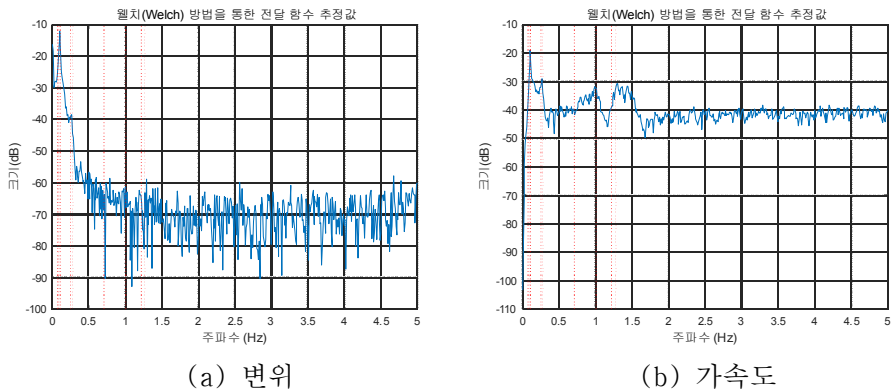


그림 4.16 주파수 응답 해석 (Jib의 끝단)

ASCE 7-98에 정의된 노출범주 A, B, C, D 중에서 타워크레인의 일반적인 작업환경과 유사한 노출범주 B, C에 대한 동적해석 결과와 설계 기준 풍속인 16.3 m/s일 때의 정적해석 결과를 비교하면 그림 4.17과 같다. 3초 거스트 풍속이 15 m/s 일 경우의 최대 변위와 최대 전도모멘트는 풍속 16.3m/s에 대한 정적해석시의 변위와 전도모멘트보다 작은 것을 알 수 있으며, 따라서 갯품을 인양하는 상태에 있는 타워크레인에 순간풍속 15m/s의 바람이 타워크레인의 어느 위치에 불더라도 구조적인 안정성은 확보됨을 알 수 있다. 이러한 결과는, 타워크레인 구조 설계 기준에 맞추어 제작/설치할 경우, 순간풍속 15 m/s의 돌풍이 불더라도 인양물의 종류와 관계없이 타워크레인의 구조적 안정성에는 문제가 없음을 입증한다. 한편, 순간풍속 12 m/s일 경우에는, 순간풍속 15 m/s보다 최대 변위와 최대 전도모멘트가 더욱 감소되어 타워크레인의 구조적인 안정성은 더욱 증가한다. 그러나, 순간풍속 15 m/s를 작업중지 풍속으로 규정하더라도 구조적인 안정성은 충분히 확보할 수 있음에도 불구하고, 순간풍속 12 m/s를 작업중지 풍속으로 규정할 경우에는 구조설계 기준에서 제시하는 작업중지 풍속의 최소 값이 16.3 m/s임을 감안할 때 지나치게 보수적인 것으로 판단된다.

결론적으로 개정된 작업중지 풍속은 작업상태 타워크레인의 구조적 안정성의 확보 측면 뿐만 아니라, 설계 기준에서 제시하는 최소 작업중지 풍속과의 일관성적인 측면에서 합리성과 타당성이 인정된다고 볼 수 있다. 반면에 순간풍속 12 m/s는 구조적 안정성 측면에서는 타당성이 인정된다고 볼 수 있으나, 설계 기준에서 제시하는 최소 작업중지 풍속과의 일관성적인 측면에서는 합리성이 다소 결여되는 것으로 판단된다.

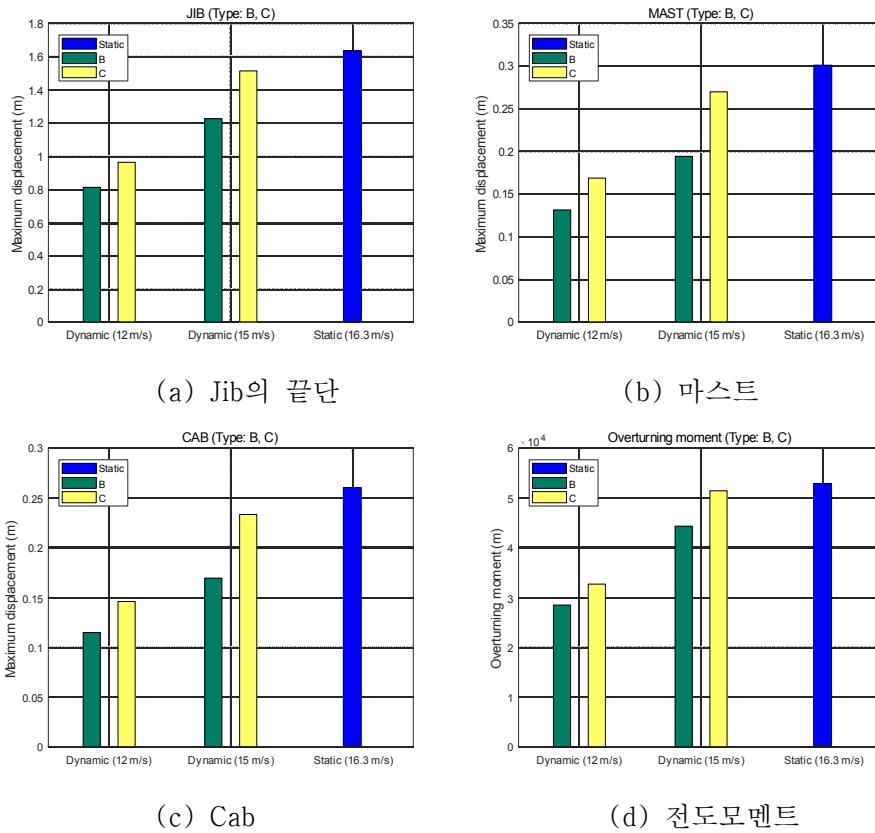


그림 4.17 정적/동적 해석 변위와 전도모멘트 비교

IV.4. 인양물의 거동 해석 및 결과 분석

4.3절에서는 작업상태 타워크레인의 구조적 안정성 측면에서 개정된 작업중지 풍속의 타당성과 합리성을 분석하였다. 그러나, 인양물이 부하된 작업상태 타워크레인에 풍하중이 작용할 경우, 인양물의 흔들림과 같은 운동이 발생할 수 있으며, 이로 인해 주변 작업자가 운동하는 인양물에 피격되는 사고가 발생할 수 있다. 따라서, 작업중지 풍속의 타당성은 타워크레인의 구조적 안정성 측면 뿐만 아니라, 이러한 작업안전성 측면에서도 검토할 필요가 있다. 이에 따라 본 절에서는 동적 풍하중에 대한 인양물의 거동을 해석하여, 작업안전적 측면에서의 개정 작업중지 풍속의 타당성을 분석하고자 한다.

IV.4.1) 풍속에 따른 인양물의 동적 거동 해석 방법

동적 풍하중이 작용하는 경우의 인양물의 운동방정식은 앞서 4.2.1 절의 식 (4-8)

에 제시된 바와 같다. 앞서 설명한 바와 같이, 인양물의 운동이 타워크레인의 거동에 큰 영향을 주지 않으므로, 본 연구에서는 해석의 편의를 위해 타워크레인의 거동을 무시하고, 풍하중에 대한 인양물의 거동 해석을 수행하고자 한다.

식(4-8)에서 타워크레인의 거동을 무시하면, 식(4-8)은 다음 식으로 변환된다.

$$L_p \ddot{\theta} + g\theta = \frac{f_{wind}}{m_p} \quad (4-12)$$

식 (4-12)는 그림 4.18과 같이 길이가 L_p 인 줄에 매달린 질량이 m_p 인 물체의 강제 진자 운동(forced pendulum motion) 모델에 대한 운동방정식과 동일하다.

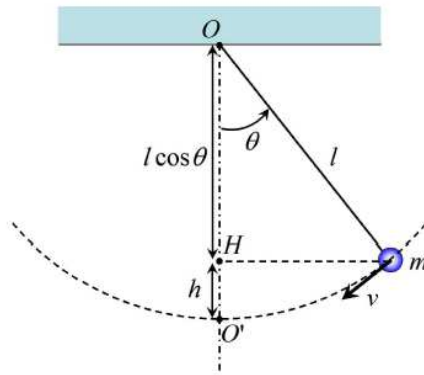


그림 4.18 진자 운동

식(4-12)의 풍하중(f_{wind})은 이론적으로 다음과 같이 표현된다 [Holmes 2015].

$$f_{wind} = \frac{1}{2} \rho_a V^2 A_p C_d \quad (4-13)$$

이를 식(4-12)에 대입하면,

$$L_p \ddot{\theta} + g\theta = \frac{\rho_a A_p C_d}{2m_p} V^2 \quad (4-14)$$

식(4-14)는 단자유도(single degree of freedom) 물체에 대한 강제 진동 해석 방법으로 풀 수 있으며, 본 연구에서는 그림 4.19과 같이 Matlab Simulink를 이용하여 풍속에 따른 인양물의 동적 거동 해석을 수행하였다.

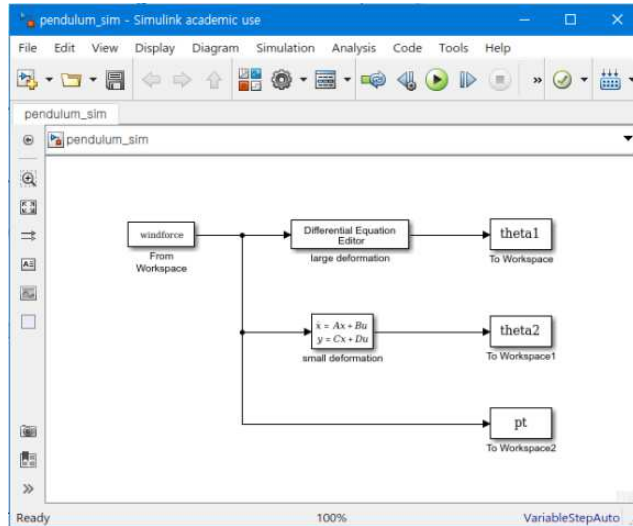


그림 4.19 인양물 동적거동 분석 프로그램

해석시 인양물은 식(4-14)에 나타난 바와 같이, 인양물의 질량(m_p)과 바람을 받는 면의 면적(A_p), 그리고 풍력계수(C_d)로 표현된다. 이는 갯폼, 철근다발 등 건설현장의 인양물의 종류가 무수히 많고 또한 형태도 모두 다르지만, 인양물의 이러한 형태와 종류에 관계없이 어느 인양물이든 풍하중에 대한 동적 거동은 질량(m_p), 풍압면적(A_p), 풍력계수(C_d)에 의해 결정된다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 여러 종류의 인양물을 포괄적으로 고려하기 위해, 표 4.6과 같이 풍력계수는 2.0, 질량은 HC 290의 허용인양하중인 3000 kg으로 고정하고, 풍압면적 만을 변수로 하여 동적 거동 해석을 수행하였다. 또한 인양줄의 길이는 HC 290의 자립고 높이를 기준으로 하여 최대 인양 길이인 45 m 를 적용하였다.

표 4.6 해석 대상 인양물

질량(kg)	풍력계수	풍압면적(m^2)
3,000	2.0	5
		10
		15
		20
		25
		30
		35
		40
		45
		50
		55
		60

동적 해석에 적용된 풍하중은, 앞서 타워크레인 거동 분석에서 사용하였던 3초 거스트 풍속 12 m/s와 15 m/s에 대한 인공풍속시간이력을, 식(4-13)에 대입하여 구하고, 이를 식(4-14)의 입력 풍하중으로 적용하였다.

IV.4.2) 인양물의 동적 거동 해석 결과 및 분석

그림 4.20은 최대 3초 거스트 풍속이 각각 12 m/s와 15m/s 인 경우의, 인양물의 진자 운동에 따른 최대 진폭을 풍압면적에 대해 나타낸 결과이다.

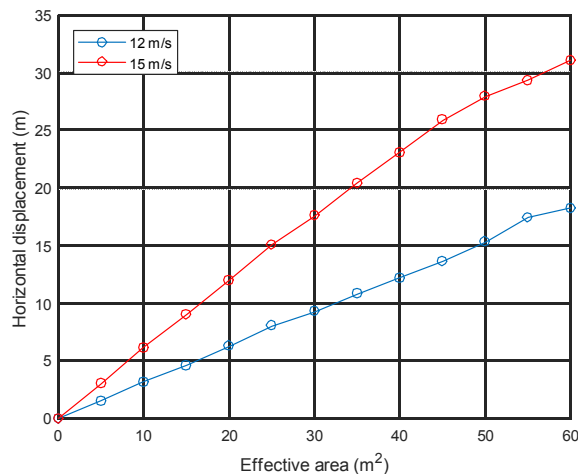


그림 4.20 풍속에 따른 인양물의 풍압면적과 최대변위의 관계

풍압면적이 클수록 최대 진폭의 크기가 증가하며, 또한 동일한 풍압면적일 경우 3초 거스트 풍속이 클수록 최대 진폭의 크기가 크다는 것을 알 수 있다. 그러나, 12 m/s 인 경우라도 갯폼(60 m²)과 같이 풍압면적이 클 경우에 최대 진폭은 약 19 m로 작지 않음을 알 수 있다. 또한, 동일한 무게의 인양물이더라도 풍압면적에 따라 12 m/s 인 경우보다 15 m/s의 최대 진폭은 더 작을 수도 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 12 m/s의 풍속이라고 할지라도 인양물의 종류에 따라서는 15 m/s 보다 작업안전성이 낮을 수 있음을 입증할 뿐만 아니라, 15 m/s 라도 인양물의 종류에 따라서는 12 m/s 보다 작업안전성이 높을 수 있음을 입증한다. 결론적으로 풍속이 작업안전성의 확보적인 측면에서는 (즉, 인양물의 운동 제어적인 측면) 중요한 변수이기는 하지만, 인양물의 풍특성에 따라 작업안전성을 확보할 수 있는 풍속이 다르기 때문에, 이를 하나의 풍속 값으로 법에서 규정하는 것은 타당하지 않을 것으로 사료된다. 따라서, 작업안전성적인 측면에서 작업중지 풍속을 법으로 규정하는 것보다, 건설 현장에서 인양물의 종류에 따라 작업안전성을 확보할 수 있는 풍속을 자체적으로 설정하여 활용하도록 유도하는 것이 합리적일 것으로 판단되며, 이를 위해 “인양물의 풍특성을 고려한 작업

중지 풍속 설정 방법”과 같은 가이드라인을 제시하는 것이 재해예방에 있어 법 규정보다 실질적인 효과가 높을 것으로 사료된다.

IV.5. 소결

본 장에서는 작업상태 타워크레인에 대한 정/동적 거동 해석을 수행하고, 이를 바탕으로 작업상태 타워크레인에 대한 구조적 안정성 측면에서의 개정 작업중지 풍속의 타당성과 작업안전성 측면에서의 개정 작업중지 풍속의 타당성을 분석하였다. 분석 결과, 구조적 안정성 측면에서 개정 작업중지 풍속은 합리성과 타당성이 있는 것으로 나타났으며, 작업안전성 측면에서는 인양물의 종류에 따라 작업안전성을 확보할 수 있는 풍속이 다르기 때문에 어느 하나의 풍속 값으로 작업중지 풍속을 규정하는 것은 타당하지 않은 것으로 나타났다.

2장에서 밝혔듯이, 작업중지 풍속을 규정하는 근본적인 이유는 구조적 안정성 확보에 있으며, 대부분의 국가에서 작업중지 풍속은 타워크레인 설계 시에 규정된 풍속으로 규정하고 있다. 이러한 측면에서 볼 때, 본 장의 결과는 개정 작업중지 풍속(순간풍속 15 m/s)이 합리성과 타당성이 있다는 것을 입증한다. 한편, 인양물의 운동에 대한 작업안전성을 확보하기 위해서는 풍속을 제한할 필요가 있는 것으로 나타났으나, 인양물의 종류에 따라 작업안전성을 확보할 수 있는 풍속이 다르기 때문에 이를 하나의 값으로 규정하는 것은 합리성과 타당성이 없는 것으로 분석되었다. 따라서, 작업안전성을 확보하기 위한 제한 풍속은 인양물의 종류에 따라 건설 현장에서 자체적으로 판단할 수 있도록, 인양물의 풍특성을 고려한 작업제한 풍속 산정 가이드라인을 제시하는 것이 법적으로 이를 규정하는 것보다 재해예방에 있어서 실무적 유효성이 더 높을 것으로 사료된다.



V

인양물 종류별 작업 제한 풍속 산정 방법 개발



V. 인양물 종류별 작업 제한 풍속 산정 방법 개발

앞서 4장에서 개정된 작업중지 풍속(순간풍속 15 m/s) 규정은 작업상태 타워크레인
인의 구조적 안정성은 확보되나, 풍하중에 의한 인양물의 흔들림이 과도하게 발생할
수 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 인양물의 흔들림은 풍하중 뿐만 아니라 여러 가
지 다른 요인들에 의해서도 발생한다. 일례로 타워크레인 선회 동작 시에도 인양물의
흔들림이 발생할 수 있는데, 이는 선회부의 회전 운동으로 인해 인양줄에 매달린 인양
물에 원심력(centrifugal force)이 부가되기 때문이다 [Shapiro and Shapiro 2011]. 인
양물의 흔들림(또는 운동)을 유발하는 요인과 관계없이 인양물의 이러한 흔들림이 과
도할 경우, 타워크레인 동작 제어 및 운전 조작의 어려움이 가중될 뿐만 아니라 인양
물의 탈락 등과 같은 사고를 유발할 수 있기 때문에, 이러한 사고를 예방하기 위해서
는 인양물의 과도한 흔들림을 제한할 수 있는 대책이 필요하다. 특히, 풍하중에 의한
인양물의 과도한 흔들림을 제한하기 위해서는 인양물에 작용하는 풍하중을 제한할 필
요가 있다. 본 장에서는 풍하중에 따른 인양물의 과도한 흔들림으로 인한 사고를 예방
하기 위해, 인양물의 과도한 흔들림 없이 작업 가능한 풍속 범위에 대해 알아보고, 이
를 바탕으로 인양물의 종류별로 작업 가능한 풍속 범위를 산정할 수 있는 방법을 제시
하고자 한다.

V.1. 인양물에 대한 허용 풍하중 수준

일반적으로 바람에 의한 인양물의 흔들림은 인양물에 작용하는 풍하중의 크기가
클수록 더욱 커지며, 따라서 인양물의 과도한 흔들림을 제한하기 위해서는 인양물에
작용하는 풍하중의 크기를 제한할 필요가 있다. 표 5.1은 ISO 4302:1981과 DIN
15018-1에서 제시하는 인양물에 대한 풍하중 제한 값을 나타낸다. 표에서 알 수 있듯
이, 작업상태 타워크레인에 대한 설계 풍속이 20 m/s 인 경우, ISO 4302와 DIN
15018은 공통적으로 인양물 자중의 3 %에 해당하는 하중을 인양물에 작용하는 풍하
중의 제한 값으로 설정하고 있다. 한편, ISO 4302에서는 작업상태 타워크레인에 대한
설계 풍속이 14 m/s 인 경우에는 인양물 자중의 1.5%를 적용하고, 설계 풍속이 28.5
m/s 인 경우에는 인양물 자중의 6%를 적용하도록 하고 있어, 작업상태에 대한 설계
풍속 값이 작을수록 인양물에 작용하는 풍하중을 낮추도록 하고 있음을 알 수 있다.
그러나, ISO 4302나 DIN 15018과 같이 인양물의 자중을 기준으로 인양물에 작용하는
풍하중을 제한하는 경우에는, 작업 대상 인양물의 자중에 따라 제한하는 풍하중의 크
기는 쉽게 결정할 수 있는 장점이 있는 반면에, 결정된 풍하중의 크기에 해당하는 풍
속 값은 풍하중의 크기로부터 직접 결정하기 어려운 문제점이 있다. 예를 들어, 작업대
상 인양물의 자중이 1 ton 일 경우, 인양물에 대한 허용 풍하중은 0.3 kN 임을 알 수

있으나, 이에 해당하는 풍속이 얼마인지는 풍하중의 크기(즉, 인양물의 자중)만으로는 구할 수가 없다. 이는 물체에 작용하는 풍하중은, 이론적으로 다음 식과 같이 풍속도압(q), 대상 물체의 풍압면적(A_p) 및 풍력계수(C_w)에 의해 결정되기 때문이다 [Simiu and Scanlan 1996].

$$f_w = qA_pC_w = \frac{1}{2}\rho_a V^2 A_p C_w \quad (5-1)$$

따라서, ISO 4302나 DIN 15018에서 제시하는 허용 풍하중의 크기로부터 작업 허용 풍속의 범위를 결정하기 위해서는, 작업대상 인양물의 풍압면적과 풍력계수를 알고 있어야 한다.

표 5.1 인양물에 작용하는 풍하중의 제한 값

	인양물에 작용하는 풍하중(f)의 제한 값
ISO 4302:1981	(1) $f = 0.015mg(kN)$: 작업상태에 대한 설계 풍속이 14 m/s 인 크레인의 경우 (ex: 이동식 크레인) (2) $f = 0.03mg(kN)$: 작업상태에 대한 설계 풍속이 20 m/s 인 크레인의 경우 (ex: 타워크레인) (3) $f = 0.06mg(kN)$: 작업상태에 대한 설계 풍속이 28.5 m/s 인 크레인의 경우 m : 인양물의 질량 (ton); $g = 10m/s^2$ (중력가속도)
DIN 15018-1	인양물 자중의 3 % (※ DIN 15018 에서는 작업상태 타워크레인에 대한 설계 시 풍속도압(q)을 $250 N/m^2$을 적용하도록 규정하고 있으며, 이는 풍속 20 m/s에 해당함)

한편, EN 13001과 FEM 1.004에서는 작업 대상 인양물의 자중, 풍압면적, 풍력계수를 바탕으로 인양물에 작용하는 풍하중을 간접적으로 제한하고 있다. 표 5.2는 EN 13001과 FEM 1.004에서 제시하는 작업 대상 인양물의 In-service 허용 기준을 나타낸다[BS 7121-1 2016]. EN 13001과 FEM 1.004에서는 작업 대상 인양물의 풍압면적/자중비가 $0.5 m^2/ton$ 이하이면서 동시에 풍력계수가 2.4 이하인 경우에는, 타워크레인의 작업상태에 대한 설계 풍속(in-service design wind speed)을 작업 가능 풍속 범위의 상한으로 적용할 수 있으나, 풍압면적/자중비가 $0.5 m^2/ton$ 를 초과하거나 또는 풍력계수가 2.4를 초과하는 인양물의 경우에는 작업상태에 대한 설계 풍속보다 낮은

풍속 값을 적용하도록 하고 있다. 그러나, EN 13001과 FEM 1.004에서는 풍압면적/자중비가 $0.5 \text{ m}^2/\text{ton}$ 를 초과하거나 풍력계수가 2.4를 초과하는 인양물에 대해 적용하여 할 풍속은 어떻게 구할 수 있는지는 별도로 제시하지 않고 있다.

표 5.2 작업상태 설계 풍속을 적용할 수 있는 인양물의 풍특성 값

	풍압면적(A_p)/자중(m)비	풍력계수(C_w)
EN 13001	$0.5 \text{ m}^2/\text{ton}$ 이하	2.4 이하
FEM 1.004	$0.5 \text{ m}^2/\text{ton}$ 이하	2.4 이하

EN 13001 등에서 제시하는 $0.5 \text{ m}^2/\text{ton}$ 의 풍압면적/자중비를 적용할 경우, 인양물에 작용하는 풍하중의 수준이 어느 정도인지를 살펴보기 위해서는, 이에 대한 도출 근거를 알아볼 필요가 있다. 표 5.1에서 작업상태에 대한 설계 풍속이 20 m/s (풍속도압 0.25 kN/m^2 에 해당)인 크레인에 대해 적용하는 풍하중 제한 값인 ' $f = 0.03mg$ '를 식 (5-1)에 대입하고, 이를 '풍압면적/자중비'로 정리하면 다음 식(5-2)와 같다.

$$\frac{A_p}{m} = \frac{0.03g}{qC_w} \quad (5-2)$$

식(5-2)에 중력가속도($g = 10 \text{ m/s}^2$), 풍력계수($C_w = 2.4$), 풍속도압($q = 0.25 \text{ kN/m}^2$)을 대입하면, 다음 식과 같이 정확하게 $0.5 \text{ m}^2/\text{ton}$ 이 됨을 알 수 있다.

$$\frac{A_p}{m} = \frac{0.03 \times 10}{0.25 \times 2.4} = 0.5 \text{ (m}^2/\text{ton)} \quad (5-3)$$

이러한 결과는 EN 13001에서 제시하는 허용 풍압면적/자중비가 풍압계수 2.4인 인양물에 대해 ISO 4302나 DIN 15018에서 제시하는 작업상태에 대한 설계 풍속 20 m/s 인 경우의 허용 풍하중 제한 값인 인양물 자중의 3 %에 근거하여 도출되었음을 입증한다.

한편, 2013년에 유럽인양장비협회(FEM)에서는 크레인 작업 시 인양물의 종류에 따라 안전하게 작업할 수 있는 허용 풍속 산정 공식을 다음 식(5-4)와 같이 제시하였으며, 또한 식 (5-4)를 실무에서 적용하고자 할 경우 어떠한 방법으로 이를 적용하는지를 그림 5.1과 같이 제시하였다 [FEM 5.016 2013].

$$V_{allowed} = \min \left(V_{ref}, V_{ref} \sqrt{\frac{1.2m}{A_p C_w}} \right) \text{ (m/s)} \quad (5-4)$$

- $V_{allowed}$: 인양물 종류별 작업 허용 풍속으로서 3초 거스트 풍속
- V_{ref} : 크레인 제조 회사 등에서 제시하는 기준 풍속 (※ In-service design wind speed 등)

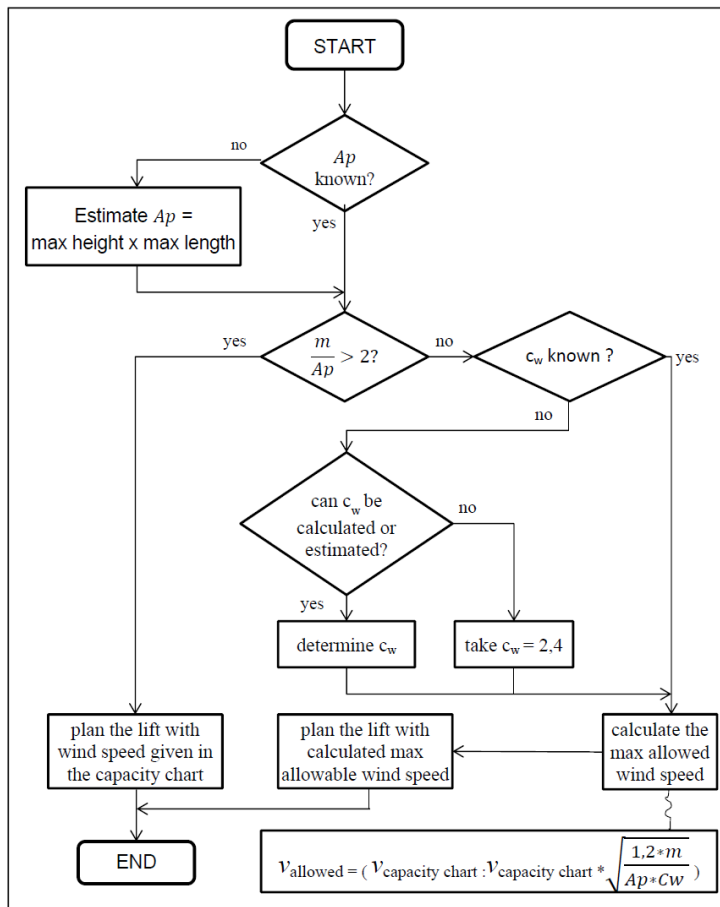


Figure 3 — Work flow to determine the allowed wind speed

그림 5.1. 인양물의 풍특성을 고려한 작업 허용 풍속 산정 방법 [FEM 5.016 2013]

FEM 5.016 에서 제시하는 허용 풍속 산정 공식은 V_{ref} 또는 V_{ref} 에 특정계수를 곱한 값 중 작은 값을 허용 풍속 값으로 적용하도록 하고 있다. FEM 5.016에서 제시하는 허용 풍속 산정 공식의 핵심은 다음 식으로 표현되는 풍속 감소 계수(이하 α 로 칭함)이다.

$$\sqrt{\frac{1.2m}{A_p C_w}} = \alpha \quad (5-5)$$

따라서, FEM 5.016에서 제시하는 허용 풍속 산정 공식의 타당성을 판단하기 위해서는 α 가 어떠한 근거로 도출되었는지를 살펴 보아야 한다. 앞서 표 5.2에서 나타낸 바와 같이 FEM 1.004에서는 인양물의 풍특성($\frac{A_p}{m}$, C_w) 허용 값을 각각 $0.5 \text{ m}^2/\text{ton}$ (또는 $\frac{m}{A_p} = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ ton/m}^2$)과 2.4 로 규정하고 있다. 이 값을 식(5-5)에 대입하면 다음 식과 같이 정확하게 1이 됨을 알 수 있다 (FEM 5.016에서는 α 값이 1 이상인 경우 허용 풍속은 V_{ref} 로 결정됨).

$$\alpha = \sqrt{\frac{1.2m}{A_p C_w}} = \sqrt{\frac{1.2 \times 2}{2.4}} = 1 \quad (5-6)$$

즉, FEM 5.016 에 제시된 허용 풍속 공식은 FEM 1.004에 제시된 인양물의 풍특성 허용 값을 근거로 하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 FEM 1.004에 제시된 인양물의 풍특성 허용 값을 초과하는 인양물에 대해 적용하여야 할 허용 풍속 값은, FEM 5.016에서 제시하는 허용 풍속 산정 공식을 이용하여 합리적으로 결정할 수 있음을 입증한다.

V.2. 인양물의 풍특성을 고려한 작업 허용 풍속 산정 공식의 도출

인양물의 종류(즉, 풍특성)에 따라 안전하게 작업할 수 있는 작업 허용 풍속 값을 구하기 위해서는 식(5-4)와 같은 인양물의 풍특성을 고려한 풍속 산정 공식이 필요하다. 그러나 앞서 살펴 보았듯이, 식(5-4)는 인양물에 작용하는 허용 풍하중의 크기는 인양물 자중의 3%이고 또한 작업상태에 대한 설계 풍속은 20 m/s 인 경우에 적합하도록 유도된 공식이므로, 개정 작업중지 풍속인 “순간풍속 15 m/s”에 이 공식을 직접 적용하는 것은 맞지 않다. 따라서, 국내 규정에 맞는 인양물 풍특성별 작업 허용 풍속을 산정하기 위해서는, 식(5-4)를 국내 규정에 맞도록 적절하게 변환할 필요가 있다.

개정 작업중지 풍속인 “순간풍속 15 m/s”를 풍속도압으로 환산하면 다음과 같다.

$$q = \frac{1}{2} \rho_a V^2 = \frac{1}{2} \times 0.00125 \times 15^2 = 0.14 (kN/m^2) \quad (5-7)$$

인양물에 작용하는 허용 풍하중은, 표 5.1에 제시된 바와 같이 작업상태에 대한 설계 풍속이 20 m/s 일 경우 인양물 자중의 3%를 적용하고, 설계 풍속이 14 m/s 일 경우에는 인양물 자중의 1.5%를 적용한다. 따라서, 개정 작업중지 풍속인 “순간풍속 15 m/s”에 대해 적절한 허용 풍하중의 크기는 다음 식과 같이 인양물 자중의 1.5%를 적용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

$$f_{allowed} = 0.015mg (kN) \quad (5-8)$$

한편, 식(5-8)을 식(5-1)에 대입하고, 이를 풍압면적/자중비로 정리하면 다음 식과 같다.

$$\frac{A_p}{m} = \frac{0.015g}{qC_w} \quad (5-9)$$

식(5-7)에 제시된 바와 같이 “순간풍속 15 m/s”에 해당하는 풍속도압 값인 0.14 kN/m²과 인양물의 최대 풍력계수 값인 $C_w = 2.4$ 를 식(5-9)에 대입하면 다음 식과 같은 최대 허용 풍압면적/자중비가 구해진다.

$$\frac{A_p}{m} = \frac{0.015g}{qC_w} = \frac{0.015 \times 10}{0.14 \times 2.4} = 0.446 \cong 0.45 \quad (m^2/ton) \quad (5-10)$$

FEM 5.016에서 제시하는 허용 풍속 공식(식 5-5)에 제시된 풍속감소계수 α 는, 인양

물의 풍특성 값($\frac{A_p}{m}$, C_w)에 상수 1.2가 곱해진 형태이다. 여기서 상수 1.2는 FEM 1.004에서 제시하는 최대 허용 풍압면적/자중비 ($\frac{A_p}{m}$) 값인 0.5 m²/ton과 최대 풍력계수(C_w) 값인 2.4를 식(5-5)에 대입하였을 때, 풍속감소계수 값이 1이 되도록 만드는 조정계수이다. 따라서, 식(5-4)를 국내 규정에 맞도록 변환하기 위해서는, 식(5-10)에 제시된 최대 허용 풍압면적/자중비 값에 대해 풍속감소계수가 1이 되도록 하는 조정계수를 구하여야 한다. 식(5-5)에서 조정계수인 1.2를 미지수 x 로 두고, 식(5-10)에 제시된 최대 허용 풍압면적/자중비 값에 대해 풍속감소계수(α) 값이 1이 되도록 하는 x 를 구하면, 풍력계수(C_w) 값이 2.4 인 경우에 대해 다음과 같이 구해진다.

$$x = \frac{A_p C_w}{m} = 0.45 \times 2.4 = 1.08 \quad (5-11)$$

식(5-11)에 나타낸 결과를 이용하면, 국내 작업중지 풍속 규정(“순간풍속 15 m/s”)에 맞는 풍속감소계수(α)는 다음 식과 같이 표현된다.

$$\alpha = \sqrt{\frac{1.08m}{A_p C_w}} \quad (5-12)$$

식(5-12)을 이용하면, 식(5-4)와 동등한 성능을 가지면서 국내 타워크레인 작업중지 풍속 규정(“순간풍속 15 m/s”)에 맞는 ‘인양물의 종류(또는 풍특성)에 따른 작업 허용 풍속 산정 공식’을 최종적으로 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$V_a = \min \left(V_r, V_r \sqrt{\frac{1.08m}{A_p C_w}} \right) \quad (\text{m/s}) \quad (5-13)$$

- V_a : 작업 허용 풍속 (인양물에 직접적으로 작용하는 순간풍속으로서 3초 평균 거스트 풍속. 단, 소수점 첫째 자리까지의 값)
- V_r : 기준 작업 중지 풍속 (산업안전보건기준에 관한 규칙에 제시된 작업중지 풍속 또는 타워크레인 제조사가 제시하는 작업상태 설계 풍속 중 작은 값)
- m : 작업 대상 인양물의 질량 (ton)
- C_w : 작업 대상 인양물의 바람이 부는 방향(즉, 풍방향)으로의 풍력계수
- A_p : 작업 대상 인양물의 바람을 받는 면의 충실율을 고려한 풍방향 면적 (m²)

V.3. 제안 공식의 유효성 평가

앞서 언급한 바와 같이 작업 가능 풍속 산정 공식을 적용하는 이유는 풍하중에 따른 인양물의 과도한 흔들림을 제한하기 위함이며, 따라서 식(5-14)에 제안된 작업 가능 풍속 산정 공식의 유효성을 검증하기 위해서는, 이로부터 산정된 풍하중이 인양물의 과도한 흔들림을 유발하지 않는가를 확인하여야 한다.

표 5.3과 5.4는 기준 작업 중지 풍속이 15 m/s 일 때, 인양물의 풍압면적/자중비에 따른 작업 가능 풍속을 FEM 5.016에 제시된 공식과 본 연구에서 제안한 공식을 이용하여 구한 결과를 나타낸다. 풍력계수가 2.4일 경우, (참고적으로 풍력계수는 물체의 기하학적 특성에 따라 다른 값을 가질 뿐만 아니라 동일한 물체라도 방향에 따라 다른 값을 가질 수 있으나, 대개의 경우 0.1~2.4의 값을 가진다 [Holmes 2015; Tamura and Kareem 2013]), FEM 5.016은 $\frac{A_p}{m}$ 이 0.5 이하인 경우부터 작업 가능 풍속이 15 m/s 이하가 되지만, 제안공식의 경우 0.45 이하인 경우부터 작업 가능 풍속이 15 m/s 이하가 됨을 알 수 있다. 한편 풍력계수가 1.2인 경우에는, 작업 가능 풍속이 15 m/s 이하가 되는 $\frac{A_p}{m}$ 가 풍력계수 2.4인 경우보다 크지만 (풍력계수 1.2인 경우 $\frac{A_p}{m} \geq 0.9$), FEM 5.016에 비해서는 제안공식의 $\frac{A_p}{m}$ 가 더 작음을 알 수 있다 (FEM 5.016의 경우 $\frac{A_p}{m} \geq 1.0$). 이러한 결과는 제안공식에 의한 작업 가능 풍속 산정이 FEM 5.016에 비해 보다 보수적(즉, 안전측)임을 입증하는 것이며, 따라서 제안공식을 적용할 경우 풍하중에 의한 인양물의 흔들림이 FEM 5.016에 비해 보다 작을 것으로 예상된다.

표 5.3. 인양물의 풍특성에 따른 작업 허용 풍속 ($C_w = 2.4$ 인 경우)

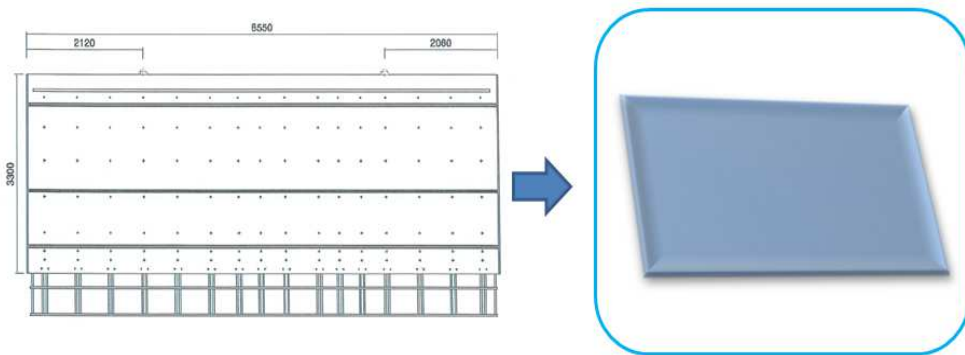
$\frac{A_p}{m}$ (m ² /ton)	C_w	V_r (m/s)	FEM 5.016	Proposed	V_a (m/s) (Proposed)
			$V_r \sqrt{\frac{1.2m}{A_p C_w}}$ (m/s)	$V_r \sqrt{\frac{1.08m}{A_p C_w}}$ (m/s)	
0.1	2.4	15	33.5	31.8	15.0
0.3			19.4	18.4	15.0
0.45			15.8	15.0	15.0
0.5			15.0	14.2	14.2
0.75			12.2	11.6	11.6
0.9			11.2	10.6	10.6
1			10.6	10.1	10.1
5			4.7	4.5	4.5
10			3.4	3.2	3.2
20			2.4	2.3	2.3

표 5.4. 인양물의 풍특성에 따른 작업 허용 풍속 ($C_w = 1.2$ 인 경우)

$\frac{A_p}{m}$ (m ² /ton)	C_w	V_r (m/s)	FEM 5.016	Proposed	V_a (m/s) (Proposed)
			$V_r \sqrt{\frac{1.2m}{A_p C_w}}$ (m/s)	$V_r \sqrt{\frac{1.08m}{A_p C_w}}$ (m/s)	
0.1	1.2	15	47.4	45.0	15.0
0.3			27.4	26.0	15.0
0.45			22.4	21.2	15.0
0.5			21.2	20.1	15.0
0.75			17.3	16.4	15.0
0.9			15.8	15.0	15.0
1			15.0	14.2	14.2
5			6.7	6.4	6.4
10			4.7	4.5	4.5
20			3.4	3.2	3.2

제안공식과 FEM 5.016으로 각각 산정된 풍속에 대한 인양물의 흔들림 정도를 비교 분석하기 위해 동적해석을 수행하였다. 해석대상 인양물은, 앞서 설문조사에서 가장 위험한 인양물로 응답한 갯폼과 위험성이 높지 않은 것으로 응답한 철근다발을 대상으로

하였다. 갱폼은 그림 5.2(a)와 같이 실무에서 많이 사용하는 외벽용 갱폼을 앞서 4장에서 같이 직사각형 평판으로 모델링하였으며, 이에 대한 풍력계수는 EN 13001-2에 제시된 직사각형 평판에 대한 풍력계수인 1.2를 적용하였다. 그림 5.2(a)에 제시된 갱폼의 실무 설계 자료를 입수하여 해석 대상 갱폼의 풍압면적과 중량을 구하였으며, 해석 대상 갱폼의 풍압면적은 28.215 m^2 ($8.55\text{m} \times 3.3\text{m} \times 1.0(\text{충실률}) = 28.215\text{m}^2$)이고 중량은 2.82 tonf 이다. 한편, 철근다발은 바닥판 슬래브 시공에 많이 사용하는 D22 철근을 그림 5.2(b)와 같이 원기둥 형태로 묶은 다발로 가정하였다. 철근 다발의 중량은 3 tonf 를 적용하였으며, 길이는 철근 생산 시 기본 규격 길이로 많이 사용되는 8 m 를 적용하였다. KS D 3504에 제시된 D22 철근의 공칭 단면적과 길이당 단위중량을 이용하여, 중량이 3 tonf 이고, 길이가 8 m 인 원기둥 형태 D22 철근 다발에 대한 등가 직경(약 0.25 m)을 구하였다. 따라서, 해석 대상 철근 다발의 풍압면적은 2 m^2 ($8\text{m} \times 0.25\text{m} = 2\text{m}^2$)이 되며, 이에 대한 풍력계수는 EN 13001-2에 제시된 원형단면에 대한 풍력계수인 1.2를 적용하였다. 표 5.5는 해석 대상 인양물의 풍특성 값과 이에 대한 작업 허용 풍속 산정 결과를 나타낸다.



(a) 갱폼



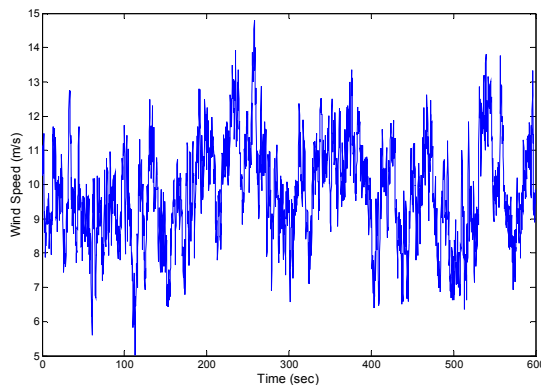
(b) 철근다발

그림 5.2. 갱폼 및 철근다발에 대한 해석 모델링

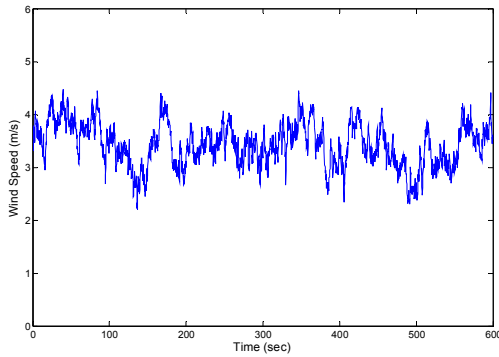
표 5.5. 해석 대상 인양물의 풍특성 및 작업 허용 풍속 산정 결과

해석대상	m (ton)	A_p (m^2)	$\frac{A_p}{m}$	C_w	V_r (m/s)	FEM 5.016	Proposed	V_a (m/s) (Proposed)
						$V_r \sqrt{\frac{1.2m}{A_p C_w}}$ (m/s)	$V_r \sqrt{\frac{1.08m}{A_p C_w}}$ (m/s)	
갱폼	2.82	28.215	10	1.2	15	4.7	4.5	4.5
철근다발 (D22)	3	2	$\frac{2}{3}$	1.2	15	18.4	17.4	15.0

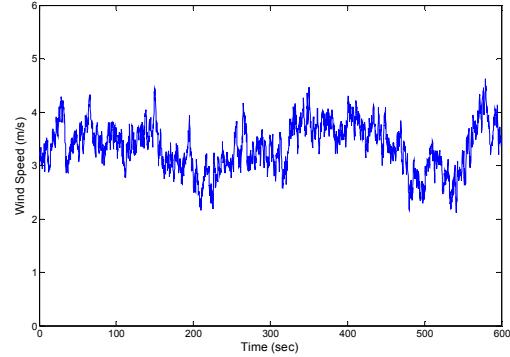
표 5.5에서 알 수 있듯이, 갱폼의 경우 $\frac{A_p}{m}$ 가 크지만 (즉, 자중에 비해 바람을 받는 면의 크기가 큰 경우), 철근다발은 상대적으로 작은 (즉, 자중에 비해 바람을 받는 면의 크기가 작음) 것을 알 수 있으며, 이로 인해 풍속저감계수가 적용된 풍속은 갱폼의 경우 매우 작게 산정된 반면에, 철근 다발은 기준 작업 중지 풍속보다 큰 풍속 값이 산정됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 3장의 설문조사에서 갱폼의 작업 위험성은 매우 높은 반면에, 철근 다발의 작업 위험성은 낮다는 실무의 인식이 타당성이 있음을 입증한다. 이를 보다 자세히 살펴보기 위해, 해석대상 인양물에 대한 동적해석을 수행하였다. 동적해석은 앞서 4.4절에 제시된 인양물의 동적거동해석방법을 적용하여 수행하였으며, 해석과정에서 풍속은 NOWS를 이용하여 생성한 인공풍속시간이력을 사용하였다. 인공풍속시간이력은 그림 5.3에 나타낸 바와 같이 3초 거스트 풍속(3 sec. gust wind speed)이 각각 4.5 m/s, 4.7 m/s, 15 m/s 인 경우에 대해 구하였으며, 시간간격을 0.25초로 하여 총 10분 동안의 시간이력을 구하였다.



(a) 3초 거스트 풍속 : 15 m/s



(b) 3초 거스트 풍속 : 4.5 m/s

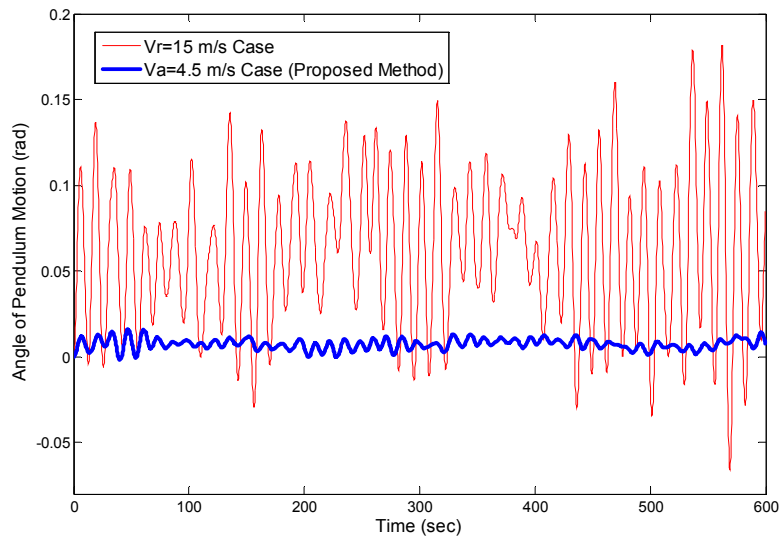


(c) 3초 거스트 풍속 : 4.7 m/s

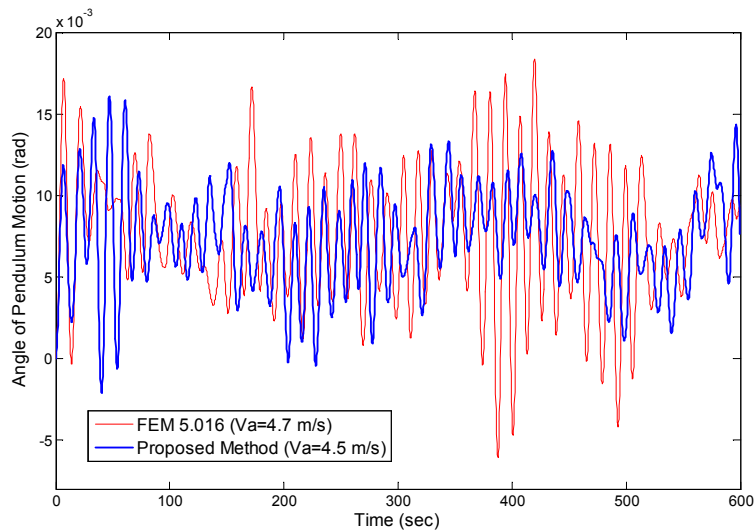
그림 5.3. 인공풍속시간이력 (ASCE 7-98 노출범주 C)

그림 5.4와 표 5.6은 인양줄의 길이가 45m 인 경우에 해석 대상 인양물 각각의 동적 거동 해석 결과(인양물의 진자운동 중심 위치에서의 회전변위)와 최대 진자 운동 중심 각도를 나타낸다. 그림 5.4(a)는 갠품에 대해 기준 작업중지 풍속(3초 거스트 풍속 : 15m/s)을 적용한 경우와 제안방법에 의한 작업 허용 풍속 (3초 거스트 풍속 : 4.5 m/s)을 적용한 경우에 대한 해석 결과를 나타낸다. 기준 작업중지 풍속을 적용할 경우 매우 큰 진자 운동이 발생하지만 (최대 회전변위 : 0.1817 rad), 제안방법에 의한 작업 허용 풍속을 적용할 경우 진자 운동의 크기가 약 1/11 수준으로 현저하게 줄어든 것을(최대 회전변위 : 0.0160 rad) 알 수 있다. 한편, 그림 5.4(b)에서 알 수 있듯이, FEM 5.016 에 제시된 방법으로 산정한 작업 허용 풍속(3초 거스트 풍속 : 4.7 m/s)을 적용한 경우(최대 회전 변위 : 0.0184 rad)보다 본 연구에서 제안한 방법으로 산정한 작업 허용 풍속(3초 거스트 풍속 : 4.5 m/s)을 적용한 경우에(최대 회전 변위 : 0.0160 rad), 갠품의 진자 운동이 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 FEM 5.016에 제시된 방법은 작업 허용 풍속을 인양물 자중의 3 %에 해당하는 풍하중이 작용되도록 하는 반면에 본 연구에서 제안한 방법은 인양물 자중의 1.5%에 해당하는 풍하중이 작용되도록 하기 때문으로 판단된다. 그림 5.4(c)는 갠품과 철근다발에 대한 동적해석결과를 나타낸다. 철근다발은 표 5.5에 나타낸 바와 같이 철근다발에 대한 작업 허용 풍속(3초 거스트 풍속 : 15 m/s)을 적용한 경우이며, 갠품은 기준 작업 중지 풍속(3초 거스트 풍속 : 15 m/s)을 적용한 경우이다. 그림에서 알 수 있듯이, 철근다발의 경우 풍속 15 m/s를 적용하더라도 인양물의 흔들림이 크게 발생하지 않지만(최대회전변위: 0.0121 rad), 갠품의 경우 풍속 15 m/s를 적용할 경우 매우 큰 흔들림이 발생하는(최대회전변위: 0.1817 rad) 것을 알 수 있다. 즉, 철근다발과 같이 인양물의 중량에 비해 바람을 받는 면의 면적이 작은 경우에는 상대적으로 높은 풍

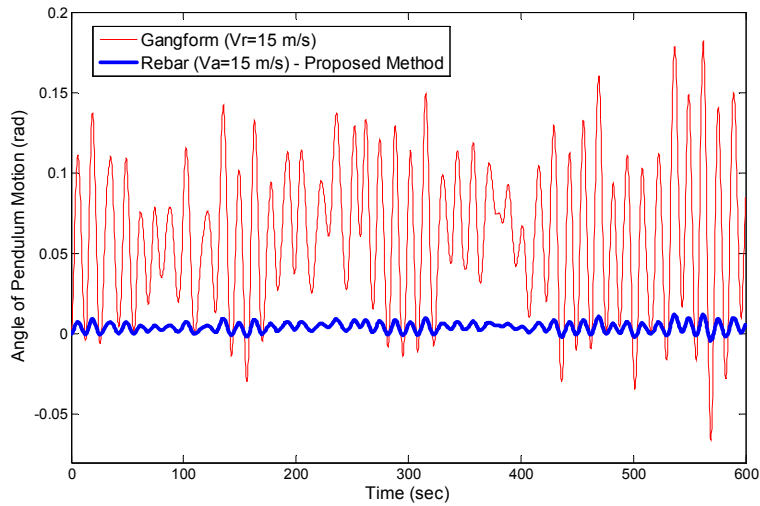
속에서도 인양물의 흔들림이 크지 않지만, 갯폼과 같이 중량에 비해 바람을 받는 면의 면적이 큰 인양물은 높은 풍속에서 매우 큰 흔들림이 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 앞서 4.4절에서 설명한 바와 같이, 인양물의 풍특성에 따라 작업안전성(인양물의 과도한 흔들림에 대한 안전성)을 확보할 수 있는 풍속은 다르다는 것을 입증할 뿐만 아니라, 본 연구에서 제안한 인양물의 풍특성에 따른 작업 허용 풍속 산정 방법(식 5-13)이 작업안전성 확보에 유효하다는 것을 입증한다.



(a) 갯폼 (3초 거스트 풍속이 15 m/s와 4.5 m/s 인 경우)



(b) 갯폼 (FEM 5.016 및 제안방법에 따른 작업 허용 풍속을 적용한 경우)



(c) 갱폼 및 철근다발 (3초 거스트 풍속이 각각 15 m/s 인 경우)

그림 5.4. 동적 거동 해석 결과 (인양물의 진자운동 중심 위치에서의 회전변위)

표 5.6. 적용 풍속에 따른 해석 대상 인양물의 최대 회전 변위

3초 거스트 풍속	진자운동 중심 위치에서의 최대 회전 변위	
	갱폼 ($\frac{A_p}{m} = 10$)	철근다발 ($\frac{A_p}{m} = 0.67$)
15 m/s (기준 작업 중지 풍속, 철근다발에 대한 제안공식 기준 작업 가능 풍속)	0.1817 rad	0.0121 rad
4.7 m/s (갱폼에 대한 FEM 5.016 공식 기준 작업 가능 풍속)	0.0184 rad	—
4.5 m/s (갱폼에 대한 제안공식 기준 작업 가능 풍속)	0.0160 rad	—

마지막으로 표 5.7은 인양 높이(즉, 인양줄의 길이)에 따른 해석 대상 인양물의 최대 수평 변위(진자운동에 대한 최대 진폭)를 나타낸다. 최대 수평 변위는 인양줄의 길이(l)에 진자운동 중심 위치에서의 최대 회전변위(θ)를 곱하여 구하였다. 진자운동의 특성으로 인해 인양줄의 길이가 길어질수록 최대 진폭은 증가하지만, 제안된 방법으로 구한 풍속을 적용할 경우 최대 진폭의 크기는 매우 작은 것을(갱폼의 경우 0.72 ~ 0.96 m) 알 수 있으며, 이는 제안된 작업 허용 풍속 산정 방법이 풍하중에 따른 인양

물의 과도한 흔들림을 제한하기 위한 방법으로 적합하다는 것을 입증하는 결과이다.

표 5.7. 해석 대상 인양물의 최대 수평 변위 (진자운동 최대 진폭)

인양 높이 (인양줄 길이)	인양물의 최대 수평 변위 (m)			
	최대회전변위 0.1817 rad	최대회전변위 0.0184 rad	최대회전변위 0.0160 rad	최대회전변위 0.0121 rad
45 m	8.2	0.8	0.72	0.54
60 m	10.9	1.1	0.96	0.72

V.4. 인양물 종류별 작업 허용 풍속의 계측 기준 풍속

본 연구에서 제안한 인양물 종류별 작업 허용 풍속 산정 공식(식 5-13)은 FEM 5.016 에서와 마찬가지로 인양물에 작용하는 풍하중의 허용 수준을 바탕으로 유도한 공식이다. 즉, 제안된 공식을 이용하여 산정된 인양물 종류별 작업 허용 풍속은, 인양물에 작용하는 풍하중의 허용 수준에 대응하는 풍속 값을 나타낸다. 따라서, 제안된 공식을 이용하여 산정한 작업 허용 풍속 값을 타워크레인 작업 제한(또는 중지) 여부를 결정하기 위한 풍속 계측 기준 값으로 하고자 할 경우에는, 인양물에 작용하는 풍속(즉, 풍하중)을 직접적으로 계측할 필요가 있다. 그러나, 인양물에 작용하는 풍속을 직접 계측하기 위해서는 작업 대상 인양물마다 풍속계(또는 풍속 측정 센서)를 설치하여야 하는데, 실무에서의 일반적인 풍속계 설치 위치를 고려할 때 작업 대상 인양물마다 풍속계를 설치하는 것은 현실적으로 실현 가능성이 없다. 타워크레인 작업시 풍속을 확인하기 위해 설치되는 풍속계의 설치 위치는, 일반적으로 타워크레인의 최상단(또는 slewing section 부근)을 기준으로 하며, EN 13001, ISO 4302 등 대다수의 규정에서도 풍속계의 설치 위치는 타워크레인의 최상단을 기준으로 하고 있다. 따라서, 타워크레인 작업 제한 여부를 결정하기 위한 풍속계의 설치 위치는 이러한 기준에 부합되도록 하는 것이 실무적인 관점에서 현실성이 있다. 그러나, 풍속계의 설치 위치를 인양물이 아닌 타워크레인의 최상단 부근으로 할 경우에는, 인양물에 작용하는 풍속과 타워크레인 최상단에서의 풍속이 다를 수 있는 문제점이 있으며, 이를 적절하게 보정할 수 있는 방법이 필요하다.

(1) 풍속계 설치 위치를 고려한 작업 허용 풍속의 보정

인양물 종류별 작업 허용 풍속을 타워크레인의 풍속계 설치 위치에서의 풍속으로 보정하기 위해서는, 인양물 위치에서의 풍속(즉, 인양물 종류별 작업 허용 풍속)을 풍속계 설치 위치에서의 풍속으로 변환할 필요가 있다. 특히, 타워크레인의 풍속계 설치 위치는 타워크레인의 설치 높이에 따라 변화되므로, 풍속의 보정은 이러한 풍속계의 위치 변화를 함께 고려할 수 있어야 하며 이를 위해서는 풍속 연직분포 관계식이 필요하다.

일반적으로 풍속은 고도에 따라 변하며, 이러한 풍속의 고도에 따른 변화를 풍속 연직분포라고 한다. 풍속의 연직분포에 관계하는 주요한 인자로는 지표면조도, 지형, 대기의 안정도 등을 들 수 있다. 한편, 지표면조도 등과 같은 주요한 인자들이 풍속의 연직분포와 어떠한 관계를 갖는지는 아직까지 충분히 규명되어 있지 않으나, 현재까지 지수법칙(power law)으로 알려진 다음 식(5-14)와 같은 관계식보다도 간단하고 실제의 관측값과 잘 부합하는 분포식은 제시된 바가 없다 [한국풍공학회 2010; Simiu & Scanlan 1996]. 따라서, 인양물 종류별 작업 허용 풍속의 보정 방법으로는 지수법칙으로 알려진 풍속 연직분포 관계식을 이용하는 것이 가장 합리적이라고 볼 수 있으며,

본 연구에서는 지수법칙을 이용한 보정 공식을 개발하고자 한다.

지수법칙에 따른 풍속 연직분포 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{V(z)}{V(z_r)} = \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad (5-14)$$

여기서, $V(z)$ 는 지표면으로부터 높이 z 에서의 풍속 (m/s), $V(z_r)$ 은 기준 높이 z_r 에서의 풍속(m/s)이고, α 는 지표면조도에 따라 결정되는 지수이다. 지수법칙을 이용하여 풍속의 연직분포를 나타낼 때 기준 높이 z_r 은 일반적으로 지상에서 10 m 또는 대기경계층 높이(5 m ~ 20 m)를 많이 적용하며, 또한 $V(z)$ 의 적용범위는 기준 경도풍 높이(Z_g) 이하를 적용하도록 하고 있다. 여기서, 기준 경도풍 높이는 고도의 증가에도 풍속의 변화가 없이 지구자전풍과 풍속이 일치하는 높이를 의미한다. 마지막으로, 지표면조도에 따라 결정되는 지수인 α 는 통상적으로 개방된 평탄지의 경우 0.1~0.15, 건물이 밀집된 시가지 등에서는 0.3~0.4 정도의 범위로 알려져 있다[한국풍공학회 2010; Simiu & Scanlan 1996; Tamura & Kareem 2013].

지수법칙에 따른 풍속 연직분포 관계식인 식(5-14)를 이용하여 인양물 위치에서의 풍속(즉, 인양물 종류별 작업 허용 풍속, V_a)을 풍속계 설치 위치에서의 풍속(V_{ma})으로 변환하는 공식을 유도하면 다음 식(5-15)와 같다.

$$V_{ma} = V_a \left(\frac{z_s}{z_p} \right)^\alpha \quad (5-15)$$

- z_s (m) : 타워크레인의 풍속계 설치 높이 또는 타워크레인의 최상단 높이
(단, $z_s \geq z_p$)
- z_p (m) : 인양물의 인양 작업이 시작되는 높이 (단, $z_p \geq 5m$)
- V_a (m/s) : 식 (5-13)으로부터 구한 인양물 종류별 작업 허용 풍속
- V_{ma} (m/s) : V_a 를 보정한 예측 기준 작업 허용 풍속으로서 z_s 위치에서의 3초 거스트 풍속 (단, $V_{ma} \leq V_r$)
- α : 풍속고도분포지수로서 국내 건축구조기준(국토교통부 고시 제 2016-317호)에서 제시하는 값 또는 다음 표 5.8에 제시된 지표면 조도 구분에 따라 표 5.9에 제시된 값

표 5.8 지표면조도 구분

지표면 조도 구분	주변지역의 지표면 상태
A	- 대도시 중심부에서 고층건축물(10층 이상)이 밀집해 있는 지역
B	- 수목 · 높이 3.5m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역 - 중층건물(4~9층)이 산재해 있는 지역
C	- 높이 1.5~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역 - 수목 · 저층건축물이 산재해 있는 지역
D	- 장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균높이가 1.5m 이하인 지역 - 해안, 초원, 비행장

표 5.9 지표면조도 구분

지표면 조도 구분	A	B	C	D
α	0.33	0.22	0.15	0.10

(2) 보정 공식의 평가

식(5-15)의 타당성을 평가하기 위해, 5.3절에 제시된 갠폼($\frac{A_p}{m}=10$ 으로 $V_a=4.5m/s$ 인 경우)과 $V_a=8.0m/s$ 인 인양물에 대한 보정된 계측 기준 작업 허용 풍속을 구해보았으며, 그 결과를 각각 다음 표 5.10, 표 5.11에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이, 풍속계 설치 높이와 인양물 작업이 시작되는 높이의 상대적인 비율($\frac{z_s}{z_p}$)에 따라 풍속계 설치 위치에서의 계측 기준 작업 허용 풍속이 다르며, 이러한 비율이 증가할수록(즉, 풍속계 설치 높이가 높고 인양물 작업이 시작되는 높이가 낮을수록) 계측 기준 작업 허용 풍속(V_{ma})도 증가함을 알 수 있다. 특히, 식(5-15)가 타당성을 갖기 위해서는, 풍속계 설치 높이와 인양물의 작업이 시작되는 높이의 차이가 작을수록 V_{ma} 는 V_a 로 수렴하여야 한다. 표 5.10에서는 풍속계 설치 높이와 인양물 작업이 시작되는 높이의 차이가 크지 않을 경우(즉, $\frac{z_s}{z_p}$ 가 작을 경우)에 V_{ma} 가 V_a 에 근접하는 것을 알 수 있으며, 이러한 결과는 식(5-15)가 타당성이 있음을 입증한다.

표 5.10 갯폼의 보정된 계측 기준 작업 허용 풍속 ($\frac{A_p}{m}=10$ 으로 $V_a = 4.5 m/s$ 인 경우)

$\frac{z_s}{z_p}$	지표면 조도 구분에 따른 계측 기준 작업 허용 풍속(V_{ma}) (m/s)			
	A	B	C	D
5	7.7	6.4	5.7	5.3
6	8.1	6.7	5.9	5.4
7	8.6	6.9	6.0	5.5
8	8.9	7.1	6.1	5.5
9	9.3	7.3	6.3	5.6
10	9.6	7.5	6.4	5.7
15	11.0	8.2	6.8	5.9
20	12.1	8.7	7.1	6.1
25	13.0	9.1	7.3	6.2
30	13.8	9.5	7.5	6.3
40	15.2 (15.0)*	10.1	7.8	6.5

※ 식(5-15)에서 $V_{ma} \leq V_r$ 이어야 하므로, V_{ma} 가 V_r (기준 작업 중지 풍속 : 15 m/s) 보다 클 경우에는 V_r 을 V_{ma} 로 적용하여야 함.

표 5.11 $V_a = 8.0 m/s$ 인 인양물의 보정된 계측 기준 작업 허용 풍속

$\frac{z_s}{z_p}$	지표면 조도 구분에 따른 계측 기준 작업 허용 풍속(V_{ma}) (m/s)			
	A	B	C	D
5	13.6	11.4	10.2	9.4
6	14.5	11.9	10.5	9.6
7	15.2	12.3	10.7	9.7
8	15.9	12.6	10.9	9.8
9	16.5	13.0	11.1	10.0
10	17.1	13.3	11.3	10.1
15	19.6	14.5	12.0	10.5
20	21.5	15.5	12.5	10.8
25	23.1	16.2	13.0	11.0
30	24.6	16.9	13.3	11.2
40	27.0	18.0	13.9	11.6

※ 식(5-15)에서 $V_{ma} \leq V_r$ 이어야 하므로, V_{ma} 가 V_r (기준 작업 중지 풍속 : 15 m/s) 보다 클 경우에는 V_r 을 V_{ma} 로 적용하여야 함.

V.5. 소결

본 장에서는 풍하중에 따른 인양물의 과도한 흔들림으로 인한 사고를 예방하기 위해 인양물의 풍특성을 고려한 작업 가능 풍속 산정 방법을 제시하고자 하였다. 이를 위해 인양물의 과도한 흔들림을 제한할 수 있는 풍하중의 허용 수준에 대해 알아보고, 허용 풍하중 수준에 적합한 작업 허용 풍속을 인양물의 풍특성을 바탕으로 산정할 수 있는 공식을 도출하였으며, 도출된 공식의 유효성을 검토하는 연구를 수행하였다. 연구 결과, 인양물의 과도한 흔들림을 제한할 수 있는 풍하중의 허용 수준은 인양물 자중에 비례적이며, 비례상수는 타워크레인의 작업상태(in-service state)에 대한 설계 풍속 수준에 따라 자중의 1.5% ~ 6% 임을 알 수 있었다. 인양물의 풍특성을 고려한 작업 허용 풍속 산정은, FEM 5.016에 제시된 작업 허용 풍속 산정 공식을 분석하여 개정된 작업중지 풍속 규정(순간 풍속 15 m/s)에 적합하도록 새롭게 공식을 유도하였으며, 이 과정에서 풍하중의 허용 수준은 자중의 1.5%를 적용하였다. 유도된 작업 허용 풍속 공식에 대한 유효성을 검증하기 위해, 실무자에 대한 설문조사 시 풍하중에 대한 위험성이 가장 높은 것으로 응답된 갯폼과 위험성이 낮은 것으로 응답된 철근다발에 대해 동적 거동 해석을 수행하였다. 동적 거동 해석 결과, 제안된 공식으로 산정한 풍속을 적용할 경우 풍하중에 의한 인양물의 흔들림이 크게 발생하지 않음을 알 수 있었으며, 이로부터 제안된 공식이 풍하중에 따른 작업안전성 확보에 유효하게 적용할 수 있음을 알 수 있었다. 한편, 제안된 인양물 종류별 작업 허용 풍속 공식은 인양물에 작용하는 풍속의 허용 수준이며, 따라서 이를 계측 기준으로 하기 위해서는 인양물에 작용하는 풍속을 계측할 필요가 있으나 실무에서는 주로 타워크레인의 최상단 부근에서 풍속을 계측한다. 따라서, 제안된 인양물 종류별 작업 허용 풍속 공식을 계측에 적용하기 위해서는, 이를 풍속계의 설치 위치에서의 풍속 값으로 변환할 필요가 있다. 본 연구에서는 풍속 연직분포에 관한 지수법칙을 이용하여 인양물 종류별 작업 허용 풍속을 계측 기준 작업 허용 풍속으로 변환하는 공식을 유도하고 이에 대한 타당성을 평가하였으며, 유도된 변환 공식이 타당성이 있음을 확인하였다.



VI

결론 및 활용 방안



VI. 결론 및 활용 방안

VI.1. 결론

본 연구에서는 새로이 개정된 타워크레인 작업 중지 풍속 기준의 타당성을 검증하고, 이로부터 개정된 기준을 보완할 수 있는 대책을 제시하고자 하였다. 이를 위해 (1) 국내/외 타워크레인 작업 중지 풍속 규정에 대한 분석, (2) 타워크레인 작업중지 풍속에 대한 현장 실태 분석, (3) 풍속에 따른 타워크레인의 구조 거동 분석, (4) 인양물 종류별 작업 제한 풍속 산정 방법 개발에 대한 연구를 수행하였으며, 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 국내/외 타워크레인 작업 중지 풍속 규정에 대한 분석

- 국외 타워크레인 작업중지 풍속 규정은 대부분 타워크레인의 작동상태 (in-service state)에 대한 설계 풍하중 산정 시에 적용하는 풍속 값을 타워크레인 작업중지 풍속으로 적용하고 있음을 알 수 있었으며, 대부분의 국가에서는 “풍속 20m/s”또는 “3초 평균 풍속 20 m/s”를 타워크레인 작업중지 풍속으로 규정하고 있음을 알 수 있었다.
- 국내의 타워크레인 작업중지 풍속 규정은 일본과 매우 유사함을 알 수 있었으며, 특히 국내 타워크레인 설계 기준에서 제시하는 작업상태에 대한 설계 풍하중 산정 시에 적용하는 풍속의 최소 값은 16.3 m/s 로서, 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 제시하는 개정된 작업중지 풍속에 근접하는 값을 알 수 있었다.
- 타워크레인 작업중지 풍속은 풍하중에 대한 타워크레인의 구조적 안전성을 확보하기 위해 설계 시에 적용하는 풍속이며, 따라서 타워크레인 구조 설계 기준과 별도로 작업중지 풍속을 규정할 경우에는 설계 기준에서 제시하는 풍속과의 연관성 뿐만 아니라 실적용성을 고려할 필요가 있으며, 이러한 측면에서 개정된 작업중지 풍속 규정은 합리성이 인정되는 것으로 판단되었다.

(2) 타워크레인 작업중지 풍속에 대한 현장 실태 분석

- 타워크레인 작업중지 풍속과 관련하여 운전원과 건설사 관계자에게 설문조사를 수행하였으며, 15 m/s로 개정된 작업중지 풍속에 대해서 타워크레인 운전원과 건설사 관계자 모두 개정 기준치를 숙지하고 있는 것으로 나타났다.

- 건설 현장 관계자의 경우 개정된 작업중지 풍속 기준이 대체적으로 적정하다고 인식하고 있는 반면에, 운전원의 경우에는 개정된 기준보다 낮은 풍속으로 재개정이 필요하다고 인식하고 있는 것으로 나타났다.
- 특히, 운전원이 타당하다고 인식하는 법적인 작업중지 풍속은 10.9 m/s 인 반면에 현재 현장에서 적용하고 있는 작업중지 풍속은 12.7 m/s로 나타나 운전원이 인식하는 적정 작업 중지 풍속은 일관성이 낮은 것으로 분석되었으며, 이러한 차이가 나타나는 것은 인양물의 종류 등 작업대상의 차이에 따른 운전제어의 난이도 증가와 타워크레인 설치 높이 등 작업환경의 차이에 따른 심리적 불안감 증가 등 안전성에 대한 인지감각적 불안감이 반영되었기 때문으로 분석되었다.

(3) 풍속에 따른 타워크레인의 구조 거동 분석

- 작업상태 타워크레인에 대한 정/동적 거동 분석 결과, 순간풍속 15 m/s 에서도 타워크레인의 구조적인 안전성이 충분히 확보되는 것을 알 수 있었으며, 작업중지 풍속을 규정하는 근본적인 이유가 풍하중에 대한 타워크레인의 구조적 안전성을 확보하기 위한 것이므로 개정된 작업중지 풍속은 이러한 측면에서 적정한 것으로 분석되었다.
- 풍하중에 대한 인양물의 거동 분석 결과, 갱폼과 같이 풍하중에 크게 영향을 받는 인양물의 경우에는 풍하중에 의해 인양물의 흔들림이 매우 크게 발생하는 것을 알 수 있었다. 인양물의 과도한 흔들림은 인양물 탈락 등과 같은 사고를 유발할 수 있으며, 따라서 인양 작업에 대한 작업 안전성을 확보하기 위해서는 풍하중에 따른 인양물의 과도한 흔들림을 제한할 수 있는 방법이 필요한 것으로 분석되었다.
- 인양물의 풍특성에 따라 동일한 풍속에서도 인양물의 흔들림 정도가 다르게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 순간풍속 15 m/s 에서도 인양물의 흔들림이 크지 않은 인양물이 있는 반면에 더 낮은 풍속에서도 매우 큰 흔들림이 발생하는 인양물이 있음을 알 수 있었다.
- 풍하중에 의한 인양물의 흔들림에 의한 사고를 예방하기 위해서는, 인양물의 종류별로 과도한 흔들림이 발생하지 않는 풍속을 작업 가능한 풍속으로 적용할 필요가 있으나, 이러한 풍속은 인양물의 풍특성에 따라 다를 수 있기 때문에 하나의 풍속 값으로 규정하기 어려우며, 따라서 이를 법적으로 규정하는 것은 불합리한 것으로 분석되었다.

- 인양물에 대한 작업 안전성 확보를 위해서는, 인양물 종류별로 작업 가능한 풍속 범위를 알 수 있는 가이드라인의 제시가 필요가 있으며, 이를 위해서는 인양물의 풍특성을 고려한 작업 가능 풍속 범위 산정 방법이 필요함을 알 수 있었다.

(4) 인양물 종류별 작업 제한 풍속 산정 방법 개발

- 인양물에 작용하는 풍하중의 허용 수준은 인양물 자중에 비례적이며, 비례상수는 타워크레인의 작업상태(in-service state)에 대한 설계 풍속 값에 따라 자중의 1.5% ~ 6% 임을 알 수 있었다.
- FEM 5.016에 제시된 인양물의 풍특성에 따른 작업 가능 풍속 산정 공식을 분석하여 이와 유사한 방법으로 개정된 작업중지 풍속 규정(순간 풍속 15 m/s)에 적합한(즉, 인양물에 작용하는 풍하중의 허용 수준을 인양물 자중의 1.5%로 적용한) 작업 허용 풍속 산정 공식을 유도하였다.
- 유도된 공식의 유효성을 분석하기 위해 풍특성이 다른 2 종류의 인양물에 대한 동적 거동 해석을 수행하였으며, 동적 거동 해석 결과 제안된 공식으로 산정한 풍속을 적용할 경우 풍하중에 의한 인양물의 흔들림이 크게 발생하지 않음을 알 수 있었으며, 이로부터 제안된 공식이 풍하중에 대한 인양물의 작업안전성 확보에 유효하게 적용할 수 있음을 알 수 있었다.
- 풍속 연직분포에 관한 지수법칙을 이용하여 인양물 종류별 작업 허용 풍속을 계측 기준 작업 허용 풍속으로 변환하는 공식을 유도하고 이에 대한 타당성을 평가하였으며, 유도된 변환 공식이 타당성이 있음을 확인하였다.

VI.2. 활용 방안 및 보완 대책

본 연구에서는 개정된 타워크레인 작업중지 풍속 규정(산업안전보건기준에 관한 규칙 제 37조 ②항)의 타당성에 대한 분석을 실시하였으며, 인양물의 풍특성을 고려한 작업 가능 풍속 산정 방법을 개발하였다. 본 연구의 수행 결과는 (1) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 37조 ②항에 제시된 작업중지 풍속(순간풍속 15 m/s) 규정의 합리성 및 적정성에 대한 근거 자료로 활용, (2) 타워크레인 관련 KOSHA Guide 제/개정 시 참고 및 근거 자료로 활용, (3) 건설 현장 등 실무에서 타워크레인 작업중지 및 작업재개 판단 등과 같은 의사결정시에 참고 자료로 활용, (4) 건설 현장 등 실무에서 인양물의 종류별(또는 풍특성별)로 작업 가능한 풍속 범위에 대한 판단 시에 참고 자

료로 활용, (5) 타워크레인 운영 및 관리와 관련한 관계자(안전관리자, 타워크레인 운전자, 관리감독자 등)의 안전 교육 시에 교육 자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

한편, 본 연구 결과의 활용성을 높이기 위한 보완 대책 제시를 위해 여러 관계자들에 대한 연구결과 설명 및 의견수렴회(부록 3 참고)를 개최하였으며, 수렴된 의견에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

- 산업안전보건기준에 관한 규칙에 제시된 개정 작업중지 풍속(순간풍속 15 m/s)은 타당성이 인정되므로 별도의 재개정은 필요하지 않은 것으로 분석됨.
- 산업안전보건기준에 관한 규칙에 제시된 작업중지 풍속은 상한 값으로 법적 처벌의 기준으로 활용하는 것은 타당하지만, 실무에서는 인양물의 종류와 관계없이 이 규정을 작업중지 풍속으로 일률적으로 적용하고 있으므로 이에 대한 개선 방안이 필요한 것으로 분석됨.
- 인양물의 풍특성에 따라 15 m/s에서도 작업 가능한 것이 있고 인양물 탈락 등과 같은 사고가 발생할 수 있는 위험한 것이 있으므로, 인양물의 풍특성에 따라 작업 가능한 풍속을 실무에서 판단할 수 있는 방법을 제시할 필요가 있으며, 이를 실무에서 적절하게 활용할 수 있도록 관련 사항을 KOSHA Guide 등으로 제정할 필요가 있는 것으로 분석됨.
- 순간풍속이 3초 평균 거스트 풍속(3 sec. gust wind speed)인지가 명확하지 않으므로, 이를 명확하게 할 필요가 있는 것으로 분석됨.

따라서, 본 연구 결과에 대한 활용성을 높이기 위한 후속 보완 대책은 본 연구에서 개발한 “인양물의 풍특성에 따른 작업 가능 풍속 산정 방법”이 포함된 KOSHA Guide를 제/개정하는 것이 합리적인 것으로 사료되며, 이러한 KOSHA Guide의 제/개정 시에 순간풍속 등과 같이 실무에서 모호하게 사용하고 있는 용어나 불명확한 부분을 명확하게 제시할 필요가 있는 것으로 판단된다.



참고 문헌



참고문헌

고용노동부령 제182호, 산업안전보건기준에 관한 규칙, 고용노동부

국토교통부 고시 2015-662호, 타워크레인의 구조·규격 및 성능에 관한 기준, 국토교통부

국토교통부 고시 2016-317호, 건축구조기준, 국토교통부

기상청 고시 2010-9호, 자동기상장비의 표준 규격, 기상청

김대영 (2013), “초고층 타워크레인 운전자의 안전관리를 위한 기초연구”, 대한건축학회논문집 구조제, 29권 2호, pp. 59-66

김원빈, 신성우, 이의주, 여현욱 (2017), “건설현장 타워크레인의 작업중지 풍속에 대한 국내외 기준 분석”, 한국안전학회 2017년 춘계 학술발표대회

박일철 (2014), ‘풍속에 따른 크레인 작업중지 기준에 관한 연구’, 연구보고서, 한국산업안전보건연구원

배형진, 김동석, 박원석, 박관순, 고현무 (2007), “테럭크레인의 인양과 진자운동을 고려한 시공 중 사장교의 동적거동 해석”, 대한토목학회 2007년 학술대회 논문집, pp. 1748-1751

배형진 (2008), “세그먼트의 인양과 진자 운동을 고려한 시공 중 사장교의 진동 제어”, 석사학위논문, 서울대학교 대학원

신윤석, 진일권, 안성훈, 조훈희, 강경인 (2008), “양중작업 자동화를 위한 부재진동에 따른 타워크레인의 작업가능 기준 연구”, 한국건설관리학회 논문집, 9권 2호, pp.108-116

신한우, 김광희, 김재엽, 조형근 (2007), “대형 시스템 거푸집 공법별 장단점 비교에 관한 연구,” 한국건축시공학회 논문집, 7권 4호, pp. 153-159

한국풍공학회/한국건축구조기술사회 (2010), ‘엔지니어를 위한 내풍공학’, 기문당

中华人民共和国国家标准(GB 9462-88) ‘塔式起重机技术条件’ (중국 타워크레인 기술조건)

中华人民共和国国家标准(GB/T 13752-2017) ‘塔式起重机设计规范’ (중국 타워크레인 설계 규범)

日本國 厚生労働省 告示 第399号 ‘クレーン構造規格’ (일본 크레인 구조규격)

日本國 厚生労働省 令 第 1 号 ‘クレーン 等 安全規則’ (일본 크레인 안전규칙)

日本國 労働省 通達基発 第 480 号 (일본 노동성 행정 지시)

ANSI/ASCE 7-95 'Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures', ASCE, USA

ANSI/ASME B30.3 'Tower Cranes', ASME, USA

BS 2573-1 'Rules for the design of cranes. Specification for classification, stress calculations and design criteria for structures', British Standard Institution (BSI), UK

BS 7121-1 'Code of practice for safe use of cranes. Part 1: General', British Standard Institution (BSI), UK

DIN 15018-1 'Cranes; steel structures; verification and analyses', Deutsches Institut für Normung (DIN), Germany

EN 13001-2:2011 'Crane safety. General design. Load actions', European Committee for Standardization (CEN), EU

FEM 1.001 'Rules for the design of hoisting appliances', Fédération Européenne de la Manutention (FEM), Frankfurt, Germany

FEM 1.004 'Recommendation for the calculation of wind loads on crane structures', Fédération Européenne de la Manutention (FEM), Frankfurt, Germany

FEM 5.016 'Guideline - Safety Issues in Wind Turbine Installation and Transportation', Fédération Européenne de la Manutention (FEM), Frankfurt, Germany

ISO 4302:1981 'Cranes. Wind load assessment', International Organization for Standardization (ISO), Switzerland

ISO 4302:2016 'Cranes. Wind load assessment', International Organization for Standardization (ISO), Switzerland

NF E52-081 'Grues à tour - Règles de calcul (Tower cranes - Calculating rules)', AFNOR, France

Abdel-Rahman, E.M., Nayfeh, A.H., and Masoud, Z.N.(2003), "Dynamics and Control of Cranes: A Review", Journal of Vibration and Control, Vol.9(7), pp. 863-908

ANSI Report (2016), 'Wind Effect on Tower Cranes', American National Standards Institute (ANSI), USA (<https://ansidotorg.blogspot.kr/2016/07/wind-effect-on-tower-cranes.html#gref>)

CPA (2008) 'Tower Crane Operator's Handbook', Crane Plant-hire Association (CPA), UK



- Durst, C.S. (1960), "Wind speeds over short periods of time", *Meteorological Magazine*, Vol.89, pp.181–186
- Ginger, J.D., Holmes, J.D., and Harper, B.A. (2013), "Gust Wind Speeds for Design of Structures", *Proceedings of the 8th Asia–Pacific Conference on Wind Engineering(APCWE)*, Chennai, India
- Harper, B.A., Keper, J.D., and Ginger, J.D., 'Guidelines for conversion between various wind averaging periods in tropical cyclone conditions', *Research Report*, World Meteorological Organization (WMO)
- Holmes, J.D. (2015), 'Wind Loading of Structures 3rd edition', CRC Press, Florida, USA
- Ju, F., Choo, Y.S., and Cui, F.S.(2006), "Dynamic response of tower crane induced by the pendulum motion of the payload", *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 43, pp. 376–389
- King, A. (2011), 'Analysis of Crane and Lifting Accidents in North America from 2004 to 2010', Master Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA
- Kwon, D., and Kareem, A. (2006), "NatHaz on–line wind simulator (NOWS) : simulation of Gaussian multivariate wind fields," *NatHaz Modeling Laboratory Report*, University of Notre Dame, USA
- Park, W.S., Koh, H.M., Kim, D.S., Choo, J., and Lee, H.S. (2009), "Dynamic Aanlysis of Cable–stayed Bridge under Construction Considering Hoisting Deck Segment Motion", *IABSE Symposium Report*, IABSE Symposium Bangkok 2009, pp. 1–10(10)
- Radoičić, G., & Jovanović, M. (2013), "Experimental identification of overall structural damping of system," *Journal of Mechanical Engineering*, Vol.59(4), pp. 260–268.
- Shapiro, L.K. and Shapiro, J.P. (2011), 'Cranes and Derricks 4th edition', McGraw–Hill, New York, USA
- Simiu, E. and Scanlan, R.H. (1996), 'Wind Effects on Structures 3rd edition', John Wiley and Sons, New York, USA
- Tamura, Y. and Kareem, A. (2013), 'Advanced Structural Wind Engineering', Springer, Tokyo, Japan



Abstract



Abstract

Since tower cranes are susceptible to wind loads, the operation of the tower crane should be ceased when it exposed to a strong wind. For this reason, even in Korea, the operation limit for wind loading on the tower crane is regulated by a law. Recently the Korean law in which provided the wind speed limit to cease the tower crane operation has been revised from “instantaneous wind speed of 20 m/s” to “instantaneous wind speed of 15 m/s”. Although this revision is expected to reduce safety risks in tower crane operation, some field operators still insist to lower the wind speed limit. However, in many countries “wind speed of 20 m/s” is normally used as the maximum in-service wind speed for tower cranes. Therefore, the investigation of the proper wind speed for regulation would be helpful to secure the safety of the tower crane operation under windy condition. In this study the validity of the revised wind speed limit is investigated and, if necessary, an additional guideline for safe operation of tower crane under windy condition is proposed. To this end, (1) related codes and regulations of other countries and organizations were reviewed and compared with the Korean codes, (2) a survey targeted to tower crane practitioners to ask a suitable wind speed limit was performed and analyzed, (3) static and dynamic wind response analysis for in-service state tower crane was executed, and finally (4) a method to determine the allowable wind speed for tower crane operation considering wind characteristics of a payload was proposed and validated. The results showed that the revised wind speed limit is consistent with the wind speed limit provided in tower crane design criteria and is satisfying the structural stability requirement for in-service state tower crane. Therefore, it can be concluded that the revised wind speed limit is valid in structural safety point of view. It is also known that the wind load acting on the payload of tower crane may produce large displacement of the payload. This result suggests that a limitation (or a way) to reduce the payload motion is necessary for safe operation of tower crane. A method to determine the allowable wind speed considering the wind characteristics of a payload was proposed and validated. Simulation results showed that the payload motion can be successfully controlled when the wind speed obtained from the proposed method is applied to the payload. Therefore, it can be concluded that the proposed method can effectively be used for payload control and safe operation of tower crane.



부록



부록 I (규제영향분석서)

1. 분석 대상 규제

- 타워크레인 운전 작업중지 기준풍속을 순간풍속 초당 20미터보다 강화하여 초당 15미터로 개정할 경우

2. 규제의 도입목표 및 기대효과

- 타워크레인 작업중지 풍속기준을 강화함으로써 타워크레인 작업 시 강풍에 의한 낙하물 사고 등의 재해가 감소될 것으로 예상

3. 대안의 발굴

<유지안 : 타워크레인 운전작업 중지기준을 순간풍속 초당 20미터 유지 >

- 지구온난화로 국지성 강풍과 집중 호우 등 이상기후 현상이 빈번하게 발생하고 있는 실정으로 풍속기준을 현행대로 유지하면, 강풍 시 타워크레인 운전작업으로 인한 전도 및 낙하물 재해 등 대형재해 발생을 막을 수 없음

< 비규제대안 : 없음 >

- 타워크레인 운전작업 중 발생하는 사고를 예방하기 위하여 작업중지 풍속기준을 정하는 것은 필수적인 사항으로 비규제 대안은 없음

< 규제대안 1 : 타워크레인 운전작업 중지기준을 '순간풍속 초당 15미터'로 강화 >

- 타워크레인 작업중지 풍속기준을 태풍으로 분류되는 풍속기준보다 낮은 수준으로 강화함으로써 타워크레인 작업 시 강풍에 의한 낙하물 사고 등의 재해가 감소될 것으로 예상

4. 대안별 비용·편익 분석

가. 대안별 분석 비교표

가격기준연도	현재가치 기준연도	분석대상기간 (년)	할인율(%)	단위
2015	2016	10	5.5	백만원, 현재가치

규제대안 1 : 타워크레인 운전작업 중지기준을 '순간풍속 초당 15미터'로 강화							
영향집단		비용		편익		순비용	
		총 (현행 포함)	증감 (대안1-현행)	총	증감	총	증감
피규제 기업 · 소상공인	직접	5,697.41	5,697.41	29,717.35	29,717.35	-24,019.94	-24,019.94
	간접						
피규제 일반국민							
피규제자 이외 기업 · 소상공인							
피규제자 이외 일반 국민							
정부							
총 합계		5,697.41	5,697.41	29,717.35	29,717.35	-24,019.94	-24,019.94
기업순비용		-24,019.94		연간균등순비용		-3,020.54	

나. 각 대안의 활동별 비용·편익 분석 결과

<규제대안 1 : 타워크레인 운전작업 중지기준을 ‘순간풍속 초당 15미터’로 강화>

① 피규제 기업·소상공인 :

□ 직접비용 : 5,697.41백만

세분류	타워크레인 사용 사업주																																	
활동제목	타워크레인 운전작업 중지기준을 ‘순간풍속 초당 15미터’로 강화																																	
비용항목	기타																																	
비용	5,697,414,000																																	
활동비용 특성	반복적/연간균등																																	
산식	타워크레인 대수[731]*연간작업손실일수[1.8]*운전소요단가[433,000]*연도[10]																																	
근거설명	□ 풍속 기준 강화에 따른 추가 비용 ○ (산식) 적용 타워크레인 대수 × 연간 작업손실 일수 × 운전 소요 단가 ○ (계산값) 731대 × 1.8일 × 433,000원 = 569,741,400원 [세부 항목별 산출근거] ○ 적용 타워크레인 대수 : 3,822대 × 80% × 23.9% ≍ 731대 - 국내 타워크레인 보유량: 3,822대 * 건기법 상의 건설기계 등록현황('14.1월 기준) 등 참조(국토부 자료 인용) - 가동율 : 80%(추정치) * 보관·수리 중이거나, 설치·해체·상승작업 중인 타워크레인에 대한 추정치임 - 실제 타워크레인 풍속 제한 15m/s이상 적용사업장 비율 : 23.9% (설문 243명 중 58명) * 2014년 안전보건공단 연구보고서 자료 인용 <현장 자체 운전작업 중지 풍속 기준 설문조사 결과 > <table><tr><td>풍속</td><td>10m/s미만</td><td>10m/s</td><td>11m/s</td><td>12m/s</td><td>13m/s</td><td>14m/s</td><td>15m/s이상</td><td>전체</td></tr><tr><td>현장수</td><td>30</td><td>96</td><td>5</td><td>38</td><td>12</td><td>4</td><td>58</td><td>243</td></tr><tr><td rowspan="2">비율</td><td>12.4%</td><td>39.1%</td><td>2.1%</td><td>15.6%</td><td>4.9%</td><td>1.7%</td><td>23.9%</td><td rowspan="2">100%</td></tr><tr><td colspan="6">185개소(76.1%)</td></tr></table> * 2014년 안전보건공단 연구보고서 자료 인용 ○ 연간 작업 손실 일수: 6일(18일 × 1/3) - 4.2일(6일 × 70%) ≍ 1.8일	풍속	10m/s미만	10m/s	11m/s	12m/s	13m/s	14m/s	15m/s이상	전체	현장수	30	96	5	38	12	4	58	243	비율	12.4%	39.1%	2.1%	15.6%	4.9%	1.7%	23.9%	100%	185개소(76.1%)					
	풍속	10m/s미만	10m/s	11m/s	12m/s	13m/s	14m/s	15m/s이상	전체																									
	현장수	30	96	5	38	12	4	58	243																									
	비율	12.4%	39.1%	2.1%	15.6%	4.9%	1.7%	23.9%	100%																									
		185개소(76.1%)																																

	- 최대 순간풍속 15m/s 이상이 21일, 20m/s 이상이 3일임 · 풍속기준 강화에 따른 작업중지 증가 일수 : 18일(21일- 3일) * 2013년 경북 북부지역 풍속 현황('14년 안전보건공단 연구용역) - 적용시간(강풍이 근무시간대에 발생할 가능성): 18일 × 1/3(8h/24h) = 6일 - 강풍 외의 작업중지 요인 : 강우, 강설, 기온저하 등 다른 요인(70%) · 기상청 과거 기상자료 : 2013년 경북 안동 지역 평균풍속 3m/s 이상* 27일 중 강우 및 강설 13일, 영하 5℃이하 6일(19/27≈70%는 다른 작업중지 요인과 중복)= 6일 × 70% = 4.2일 * 기상청 과거 기상자료는 최대 순간풍속이 아닌 평균풍속으로 공개되므로 최대 순간풍속 15m/s 발생 일수(21일)과 근접한 평균풍속 3m/s이상(27일)로 분석 검토함 ○ 운전 소요 단가 - 1일 임차비(인건비 포함) : 13,000,000원(1개월) ÷ 30일 ≈ 433,000원 * 월 임차료는 2,000만원 ~ 2,500만원 정도이나 여기에는 설치비, 해체비, 운반비, 상승작업비 등 운전작업과 직접 관련이 없는 비용이 포함
--	---

□ 직접편의 :29,717.35백만

(정량)제목	타워크레인 운전작업 중지기준을 '순간풍속 초당 15미터'로 강화
금액	29,717,353,647
산식	$281 \times 266000000 \times 0.05 \times 10 = 37370000000$

근거설명

□ 풍속 기준 강화에 따른 편의

○ (산식) 타워크레인 재해자수 × 1인당 사회적 손실 비용 × 재해감소목표치

○ (계산값) 281명 × 266백만원 × 5% ≒ 3,737백만원

[세부 항목별 산출근거]

○ '타워크레인' 재해자수 추정 : 6명* × 46.9배** ≒ 281명

- '타워크레인'으로 인하여 발생한 산업재해 건수는 통계자료가 없으므로 타워크레인 사망자수로서 일반 재해자수를 추정함

< '타워크레인' 사망재해 현황 >

구분	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	합계	평균
사망자수	4명	6명	3명	13명	4명	30명	6명

※ 고용노동부 연간 간행물 '산업재해현황분석'(현재, '14년도까지 발행)

※ 사고 기인물별 통계는 사망사고에 대한 통계만 관리

<건설업 사고성 재해 현황>

구분	'12년	'13년	'14년	'15년	합계
재해자수	23,349	23,600	23,669	25,132	95,750
사망자수	496	567	486	493	2,042
재해자수/사망자수	47.1배	41.6배	48.7배	50.9배	46.9배

○ 건설업 1인당 사회적 손실비용

- 6,307,740백만원 ÷ 23,669명 = 266백만원

- '14년도 건설업 재해자수 : 23,669명

- '14년도 건설업 산재보험급여 지급 금액 : 1,261,548백만원

- '14년도 간접손실액 : 5,046,192백만원(산재보상금 × 4배)

- '14년도 경제적 손실액 추정액 : 6,307,740백만원

○ 타워크레인 재해감소 목표치 : 5%

4. 대안분석의 종합결론

가. 대안별 집행자원 및 능력

< 행정적·재정적 집행 가능성 >

- 현재 시행되고 있는 타워크레인 운전작업중지 풍속기준을 강화하는 것으로, 별도의 조직 신설 등이 필요하지 않으므로 행정적·재정적 집행에도 어려움이 없을 것으로 예상됨

< 기술적 집행 가능성 >

- 기상청 발표 기상자료를 활용할 수 있으며, 타워크레인에 설치된 풍속계를 이용하면 되므로 업무 수행(기술, 인력 등)도 어려움이 없을 것으로 예상됨

< 지자체 등 집행 가능성 >

- 악천후 시 작업중지 기준을 정하는 것은, 중앙정부가 전국적으로 통일된 정책을 시행하고 일관성 있는 기준을 적용하는 것이 필요한 규제사무로 지자체에서 수행하는 것은 곤란
 - ※ 우리나라가 비준한 ILO 협약 제81호(근로감독 협약)에서는 근로감독 시스템을 중앙정부에 두도록 하고 있음

나. 대안 선택 및 근거

- 건축물이 고층화 되어감에 따라 풍속으로 인한 타워크레인 안전작업에 영향을 많이 받으므로 타워크레인 운전 작업중지 기준풍속을 순간풍속 초당 15미터로 강화하는 것으로 근로자의 산재예방을 위해 필수적임
- 타워크레인 운전 작업중지 기준풍속을 순간풍속 초당 15미터로 강화함으로써 타워크레인 작업 시 강풍에 의한 낙하물 사고 등의 산업재해 감소에 기여
 - 규제 비용·편익 분석 결과, 타워크레인 운전 작업중지 기준풍속을 순간풍속 초당 15미터로 강화에 따른 10년간 순비용은 -24,020백만원이므로 대안 선택이 타당

다. 선호된 대안의 기대효과

- 타워크레인 운전 작업중지 기준풍속을 순간풍속 초당 15미터로 강화함으로써 타워크레인 작업 시 강풍에 의한 낙하물 사고 등의 재해가 감소될 것으로 예상

부록 II (현장실태 설문조사지)

윤전원용

“타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련”을 위한 설문조사

본 설문은 산업안전보건기준에 관한 규칙 현행화 연구 중 **타워크레인 작업중지 풍속 세부 기준 마련 연구**와 관련하여 새로이 개정된 운전작업 중지 풍속 기준에 대한 타워크레인의 작업 안전성을 검토하여 개정 작업중지 풍속 기준의 타당성을 검증하고 이로부터 개정 기준의 보완 및 합리적인 현장 운영 방안 수립에 있어서 근거 자료를 제시하기 위해 관련 종사 관계자의 의견을 수렴하고자 작성되었습니다. 업무로 바쁘시겠지만 잠시만 시간을 내시어 의견을 작성하여 주시길 부탁드립니다, 보내주신 의견은 연구에 적극적으로 반영하도록 하겠습니다.

감사합니다.

부경대학교 안전공학과
신성우 교수

※ 설문 응답은 **2017년 5월 26일 (금)까지** 아래 책임연구자 또는 공동연구자에게 e-mail 로 보내주시길 부탁드립니다.

※ 응답하신 내용은 통계법 제 33조 (비밀보장 규정)에 의해 철저하게 비밀이 보장됩니다.

※※ 본 설문과 관련하여 문의하실 사항이 있으면 아래의 연락처로 문의하여 주시길 바랍니다.

책임연구자 :

부경대학교 안전공학과 신성우 교수 (e-mail : shinsw@pknu.ac.kr ; Tel. 051-629-6473)

공동연구자 :

부경대학교 안전공학과 이의주 교수 (e-mail : ejlee@pknu.ac.kr ; Tel. 051-629-6471)

운전원용

I. 응답자 기본 정보

1. 응답자의 현장명 및 현장주소(위치)를 기재하여 주시기 바랍니다.

- 현재 소속 현장 위치(지역명) : ()
- 현재 소속 현장의 공사 종류 (아파트/빌딩/플랜트/교량 등) : ()

2. 응답자의 타워크레인 관련 운전경력을 체크하여 주시기 바랍니다.

- 업무경력 :
(1년미만____, 1년이상____, 3년이상____, 5년이상____, 10년이상____, 15년이상____)

II. 타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련을 위한 설문조사

1. 귀하께서는 타워크레인 운전원 입니까?

- ☐ ① 예 ☐ ② 아니오

2. 현재 근무하고 있는 현장의 공사종류는 무엇입니까?

- ☐ ① 고층 건축물(주상복합, 아파트 등)
☐ ② 교량 구조물
☐ ③ 철골 건축물(공장, 플랜트 등)
☐ ④ 시설 구조물(광고탑, 전광판 등)

3. 귀하께서 주로 담당하고 타워크레인의 종류는 무엇입니까?

- ☐ ① T형 ☐ ② 러핑(Luffing) ☐ ③ 토폴리스(Topless)

4. 귀하께서 근무하고 있는 현장에 풍속을 감지하는 시스템(풍속계 등)이 구축되어 있습니까?

- ☐ ① 예 (4.1 항 이동) ☐ ② 아니오 (4.2 항 이동)

4.1.1 (예) 현장에 풍속을 감지하는 시스템이 구축되어 있는 위치는 어디입니까?

- ☐ ① 타워크레인 조종실 근처 ☐ ② 타워크레인 권상장치 ☐ ③ 공사 현장

4.1.2 (예) 여러 개의 풍속계가 현장에 설치되어 있을 때 작업관련 풍속기준을 어떻게 결정합니까?

- ☐ ① 개별 타워크레인에 설치되어 있는 풍속계 속도로만 결정
☐ ② 현장안에 설치되어있는 모든 풍속계의 속도가 허용 가능할 때 작업
☐ ③ 기타 ()

4.2 (아니오) 풍속을 감지하는 시스템 구축이 되어 있지 않은 경우 어떤 방법으로 확인하십니까?

지 간단히 적어주세요.()

5. 귀하께서 현재 근무하고 있는 현장의 타워크레인 설치높이는 지상 몇 m입니까?
()m

6. 귀하께서 타워크레인 운전작업 중지를 결정할 때 순간풍속과 평균풍속 중 어느 기준을 보다 중요 풍속으로 판단하십니까?

☐ ① 순간 풍속 ☐ ② 평균풍속 (10분평균) ☐ ③ 기타 (순간/평균 풍속의 조합 등)

7. 현행 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 법적 풍속기준이 순간풍속 15 m/s인 것을 알고 있습니까?

☐ ① 예 ☐ ② 아니오

8. 귀 현장의 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 풍속기준은 얼마입니까? ()m/s

9. 귀하께서 생각하시는 정상적인 타워크레인의 운전작업이 불가능한 때의 풍속은 얼마입니까? ()m/s

10. 귀하께서 타워크레인 운전작업 중지의 풍속기준은 어느 정도가 합리적이라고 생각하십니까?

☐ ① 6 m/s ☐ ② 9 m/s ☐ ③ 12 m/s ☐ ④ 15 m/s ☐ ⑤ 18 m/s

11. 현장에서 타워크레인 운전 중 다음의 순간풍속에 대해 귀하께서 느끼는 위험도를 체크하세요.

(1) 6 m/s

☐ ①매우 그렇다 ☐ ②그렇다 ☐ ③보통이다 ☐ ④아니다 ☐ ⑤매우 아니다

(2) 9 m/s

☐ ①매우 그렇다 ☐ ②그렇다 ☐ ③보통이다 ☐ ④아니다 ☐ ⑤매우 아니다

(3) 12 m/s

☐ ①매우 그렇다 ☐ ②그렇다 ☐ ③보통이다 ☐ ④아니다 ☐ ⑤매우 아니다

(4) 15 m/s

☐ ①매우 그렇다 ☐ ②그렇다 ☐ ③보통이다 ☐ ④아니다 ☐ ⑤매우 아니다

(5) 18 m/s

☐ ①매우 그렇다 ☐ ②그렇다 ☐ ③보통이다 ☐ ④아니다 ☐ ⑤매우 아니다

12. 타워크레인 운전작업 중 바람의 영향을 가장 많이 받는 작업은 무엇입니까? (예: 철근, 거푸집(강폼 포함), 비계 등)

()

13. 현장에서 타워크레인 운전작업 중 바람에 의한 사고경험(예: 인양와이어 탈선, 인양물에 작업자 부딪힘 등)이 있습니까?

☐ ① 예 (13.1항으로 이동)

☐ ② 아니오

13.1 (예) 경험하신 사고의 종류를 간단히 적어주세요. ()

14. 현장에서 순간풍속이 클 때 타워크레인 운전작업 중 가장 위험한 때는 언제입니까?

☐ ① 인양 시

☐ ② 하역 시

☐ ③ 인양상태에서 정지작업 경우

☐ ④ 선회 시

☐ ⑤ 기타 ()

15. 실제 타워크레인 작업 중 상대적으로 가장 위험성이 낮은 인양 작업시 작업가능한 최대풍속은 얼마인지 인양작업의 종류 (예: 철근다발의 단순 이동 등)와 함께 적어주세요.

- 가장 위험성이 낮은 인양작업 : ()

- 위 작업 시 최대 작업가능 풍속 : () m/s

16. 귀 현장의 바람에 의한 타워크레인 운전작업 중지는 누구에 의해서 최종 결정되니까?

☐ ① 타워크레인 운전원

☐ ② 현장 안전관리자

☐ ③ 현장 소장

☐ ④ 타워크레인 운전원과 현장 관계자와의 협의

17. 귀하께서는 타워크레인의 “작업 중지”는 어떠한 의미로서 받아들이십니까?

☐ ① 인양작업 중지 후 대기

☐ ② 크레인 브레이크 등의 해제 후 내려옴

18. 타워크레인의 “작업 중지”후 작업재개를 위한 판단은 어떻게 이루어집니까?

☐ ① 풍속 등의 기상자료로 판단

☐ ② 현장관계자와의 협의

☐ ③ 타워크레인 운전원의 판단

☐ ④ 기타 ()

19. 현장에 설치된 타워크레인의 제조/임대 업체가 해당 타워크레인에 대한 풍속별 인양 하중표와 같은 작업 중지 풍속에 관한 정보를 제공합니까?

☐ ① 예 (19.1 항 이동)

☐ ② 아니오

19.1(예) 만약, 해당 타워크레인의 풍속별 인양 하중표와 같은 작업 중지 풍속에 관한 정보를 제공받는다면, 이를 기준으로 작업 중지를 결정하는가 ?

☐ ① 예

☐ ② 아니오

20. 풍속계 이외에 타워크레인 운전 안전을 위해 반드시 구비되어야 하는 기기가 있다면 적어주세요. ()

21. 풍속규정 이외에 타워크레인 운전 안전을 위해 필요한 규정이 있다면 적어주세요.

()

- 설문에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

건설사 및 건설현장용

“타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련”을 위한 설문조사

본 설문은 산업안전보건기준에 관한 규칙 현행화 연구 중 **타워크레인 작업중지 풍속 세부 기준 마련 연구**와 관련하여 새로이 개정된 운전작업 중지 풍속 기준에 대한 타워크레인의 작업 안전성을 검토하여 개정 작업중지 풍속 기준의 타당성을 검증하고 이로부터 개정 기준의 보완 및 합리적인 현장 운영 방안 수립에 있어서 근거 자료를 제시하기 위해 관련 종사 관계자의 의견을 수렴하고자 작성되었습니다. 업무로 바쁘시겠지만 잠시만 시간을 내시어 의견을 작성하여 주시길 부탁드립니다, 보내주신 의견은 연구에 적극적으로 반영하도록 하겠습니다.

감사합니다.

부경대학교 안전공학과
신성우 교수

※ 설문 응답은 2017년 5월 26일 (금)까지 아래 책임연구자 또는 공동연구자에게 e-mail 로 보내주시길 부탁드립니다.

※ 응답하신 내용은 통계법 제 33조 (비밀보장 규정)에 의해 철저히 비밀이 보장됩니다.

※※ 본 설문과 관련하여 문의하실 사항이 있으면 아래의 연락처로 문의하여 주시길 바랍니다.

책임연구자 :

부경대학교 안전공학과 신성우 교수 (e-mail : shinsw@pknu.ac.kr ; Tel. 051-629-6473)

공동연구자 :

부경대학교 안전공학과 이의주 교수 (e-mail : ejlee@pknu.ac.kr ; Tel. 051-629-6471)

건설사 및 건설현장용

I. 응답자 기본 정보

1. 응답자의 현장명 및 현장주소(위치)를 기재하여 주시기 바랍니다.

- 소속 업체명 : ()
- 현장명 : ()
- 현장 위치 : ()

2. 응답자의 현재 직급, 직책, 담당업무 및 타워크레인 관련 업무경력을 기재하여 주시기 바랍니다.

- 직급 ()
- 직책 ()
- 담당업무 ()
- 업무경력
(1년미만____, 1년이상____, 3년이상____, 5년이상____, 10년이상____, 15년이상____)

II. 타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련을 위한 설문조사

1. 귀하께서 담당하고 있는 업무는 무엇입니까?

- ☐ ① 현장관계자 ☐ ② 현장관리자(본사) ☐ ③ 건설장비담당자(본사)

2. 귀 사(현장)에 설치된(예정) 타워크레인의 최대높이는 지상 몇 m입니까? ()m

3. 귀하께서는 현행 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 법적 풍속기준을 숙지하고 있습니까?

- ☐ ① 예 ☐ ② 아니오

4. 현행 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는 법적 풍속기준(순간풍속 15 m/s)은 적절하다고 생각하십니까?

- ☐ ①매우 그렇다 ☐ ②그렇다 ☐ ③보통이다 ☐ ④아니다 ☐ ⑤매우 아니다

5. 현행 법적 풍속기준이 적절하지 않다고 생각한다면 타워크레인 운전작업 중지에 해당하는

합리적인 풍속기준은 얼마입니까?

- ☐ ① 6 m/s ☐ ② 9 m/s ☐ ③ 12 m/s ☐ ④ 15 m/s ☐ ⑤ 18 m/s

6. 귀하께서 근무하고 있는 현장에 풍속을 감지하는 시스템(풍속계 등)이 구축되어 있습니까?

- ☐ ① 예 (6.1 항 이동) ☐ ② 아니오 (6.2 항 이동)

6.1.1 (예) 현장에 풍속을 감지하는 시스템이 구축되어 있는 위치는 어디입니까?

- ☐ ① 타워크레인 조종실 근처 ☐ ② 타워크레인 권상장치 ☐ ③ 공사 현장

6.1.2 (예) 여러 개의 풍속계가 현장에 설치되어 있을 때 작업관련 풍속기준을 어떻게 결정합니까?

- ☐ ① 개별 타워크레인에 설치되어 있는 풍속계 속도로만 결정
☐ ② 현장안에 설치되어있는 모든 풍속계의 속도가 허용 가능할 때 작업
☐ ③ 기타 ()

6.2 (아니오) 풍속을 감지하는 시스템 구축이 되어 있지 않은 경우 어떤 방법으로 확인하시는 지 간단히 적어주세요.()

7. 귀 사(현장)의 타워크레인 운전작업 중지예 해당하는 풍속기준을 규정하고 있습니까?

- ☐ ① 예 (7.1 항 이동) ☐ ② 아니오

7.1.1 (예) 타워크레인 운전작업 중지예 해당하는 풍속기준은 얼마입니까? () m/s

7.1.2 (예) 또한 별도로 규정한 풍속기준의 참고기준은 무엇인가요?

()

8. 현재 현장의 타워크레인 관련 작업상황이 안전하다고 생각하십니까?

- ☐ ①매우 그렇다 ☐ ②그렇다 ☐ ③보통이다 ☐ ④아니다 ☐ ⑤매우 아니다

9. 귀 사(현장)는 타워크레인 관련 법적기준을 만족하는 작업지침 수립 및 이를 준수하고 있습니까?

- ☐ ①매우 그렇다 ☐ ②그렇다 ☐ ③보통이다 ☐ ④아니다 ☐ ⑤매우 아니다

10. 타워크레인 운전작업 중 바람의 영향을 가장 많이 받는 작업은 무엇입니까? (예: 철근, 거푸집(깁폼 포함), 비계 등)

()

11. 실제 타워크레인 작업 중 상대적으로 가장 위험성이 낮은 인양 작업시 작업가능한 최대풍속은 얼마인지 인양작업의 종류 (예: 철근다발의 단순 이동 등)와 함께 적어주세요.

- 가장 위험성이 낮은 인양작업 : ()

- 위 작업 시 최대 작업가능 풍속 : () m/s

12. 현장에서 순간풍속이 클 때 타워크레인 운전작업 중 가장 위험한 때는 언제입니까?

- ☐ ① 인양 시 ☐ ② 하역 시 ☐ ③ 인양상태에서 정지작업 경우

☐ ④ 선회 시 ☐ ⑤ 기타 ()

13. 귀 현장의 바람에 의한 타워크레인 운전작업 중지는 누구에 의해서 최종 결정되니까?

- ☐ ① 타워크레인 운전원
☐ ② 현장 안전관리자
☐ ③ 현장 소장
☐ ④ 타워크레인 운전원과 현장 관계자와의 협의

14. 귀하께서는 타워크레인의 “작업 중지”는 어떠한 의미로서 받아들이십니까?

- ☐ ① 인양작업 중지 후 대기 ☐ ② 크레인 브레이크 등의 해제 후 내려옴

15. 타워크레인의 “작업 중지”후 작업재개를 위한 판단은 어떻게 이루어집니까?

- ☐ ① 풍속 등의 기상자료로 판단 ☐ ② 현장관계자와의 협의
☐ ③ 타워크레인 운전원의 판단 ☐ ④ 기타 ()

16. 타워크레인의 작업 중지에 대한 풍속기준을 현행(15m/s)보다 낮추어 13m/s 정도로 조정한다면 귀하의 현장에 작업손실일수가 어느정도 발생합니까?

- ☐ ① 현재와 같다 ☐ ② 10 일 ☐ ③ 20 일 ☐ ④ 30 일 ☐ ⑤ 31일 이상

17. 현장에 설치된 타워크레인의 제조/임대 업체가 해당 타워크레인에 대한 풍속별 인양 하중표와 같은 작업 중지 풍속에 관한 정보를 제공합니까?

- ☐ ① 예 (17.1 항 이동) ☐ ② 아니오

17.1(예) 만약, 해당 타워크레인의 풍속별 인양 하중표와 같은 작업 중지 풍속에 관한 정보를 제공받는다면, 이를 기준으로 작업 중지를 결정하는가 ?

- ☐ ① 예 ☐ ② 아니오

18. 풍속계 이외에 타워크레인 운전 안전을 위해 반드시 구비되어야 하는 기기가 있다면 적어주세요. ()

19. 풍속규정 이외에 타워크레인 운전 안전을 위해 필요한 규정이 있다면 적어주세요. ()

20. 귀하께서 타워크레인과 관련한 법적 기준에 대해 의견이 있으시면 작성하여 주시기 바랍니다. ()

- 설문에 응해주셔서 대단히 감사합니다.



부록 III (관계자 의견수렴회)

1. 개최공문

“부경, 세계로 향한 날개”



부 경 대 학 교



수신자 수신자 참조

(경유)

제 목 연구결과 설명회 참석 요청

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 안전보건연구원의 위탁을 받아 우리 대학에서 수행하고 있는 연구용역과제 『산업 안전보건기준에 관한 규칙 현행화 연구(타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련)』에 대한 연구결과 설명회를 아래와 같이 개최하고자 하오니 회의에 참석(소속기관 대리인 참석 가능)하여 주시기 바랍니다.

3. 아울러 본 설명회와 관련하여 문의 사항이 있으실 경우, 연구책임자(신성우 교수; shinsw@pknu.ac.kr, 051-629-6473)으로 문의하시기 바랍니다.

[연구결과 설명회 개최 개요]

가. 일 시 : 2017년 9월 7일 (목) 14:00~16:00

나. 장 소 : 한국철도공사 대전충남본부 1층 광희실 (대전광역시 동구 중앙로 215)

다. 안 건 : 개정 타워크레인 작업중지 풍속의 타당성 검토 결과 설명 및 연구 보안을 위한 의견수렴

라. 참석대상 :

- 고용노동부 산업안전과 (담당사무관/전문위원)
- 한국산업안전보건공단 (관련부서장)
- 민주노총 전국건설노조 (타워크레인분과위원장)
- 한국노총 전국건설산업노조 (타워크레인분과장)
- 대한건설협회 (기술정책실장)
- 대한전문건설협회 (기술지원실장)
- 충북대학교 원정훈 교수. 끝.

2. 개최현장사진



3. 참석자명단

회의 참석자 명단

2017년 9월 7일 (목)

성명	소속	직위	서명
최강호	고흥부	사무장	최강호
유원동	연구원	실장	유원동
이외구	부정비행	과장	이외구
이현우	안전연구실	과장	이현우
이상영	응급간호안전기술부	차장	이상영
장경복	"	부장	장경복
개영승	지문인식센터	실장	개영승
김남준	지식정보인프라개발 부서장	지부장	김남준
이흥순	전국각급자문위원회 크레인학과	본부장	이흥순
이재섭	전국각급자문위원회	지부장	이재섭
신종재	"	"	신종재
김종권	대해전선협회	회장	김종권
원재준	노벨대우	부장	원재준

〈연구진〉

연구기관 : 부경대학교 산학협력단

연구책임자 : 신성우 (교수, 공학박사, 부경대학교 안전공학과)

연구원 : 이의주 (교수, 공학박사, 부경대학교 안전공학과)
심성한 (부교수, 공학박사, UNIST 도시환경공학부)
김신우 (석사과정, 공학사, 부경대학교 안전공학과)
김원빈 (석사과정, 공학사, 부경대학교 안전공학과)
김명호 (학사과정, 부경대학교 안전공학과)
이가연 (학사과정, 부경대학교 안전공학과)

연구상대역 : 유현동 (실장, 안전연구실)
김동원 (연구위원, 안전연구실)
여현욱 (연구원, 안전연구실)

〈연구기간〉

2017. 04. 03 ~ 2017. 09. 30

본 연구는 산업안전보건연구원의 2017년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인
적 견해이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를
수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

2017-연구원-0849

산업안전보건기준에 관한 규칙 현행화 연구
(타워크레인 작업중지 풍속 세부기준 마련)

발 행 일 2017년 9월 30일
발 행 인 산업안전보건연구원 원장 김장호
연구 책임 자 부경대학교 안전공학과 교수 신성우
발 행 처 안전보건공단 산업안전보건연구원
주 소 (44429) 울산광역시 중구 종가로 400
전 화 (052) 703-0860
F A X (052) 703-0334
H o m e p a g e <http://oshri.kosha.or.kr>
