



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

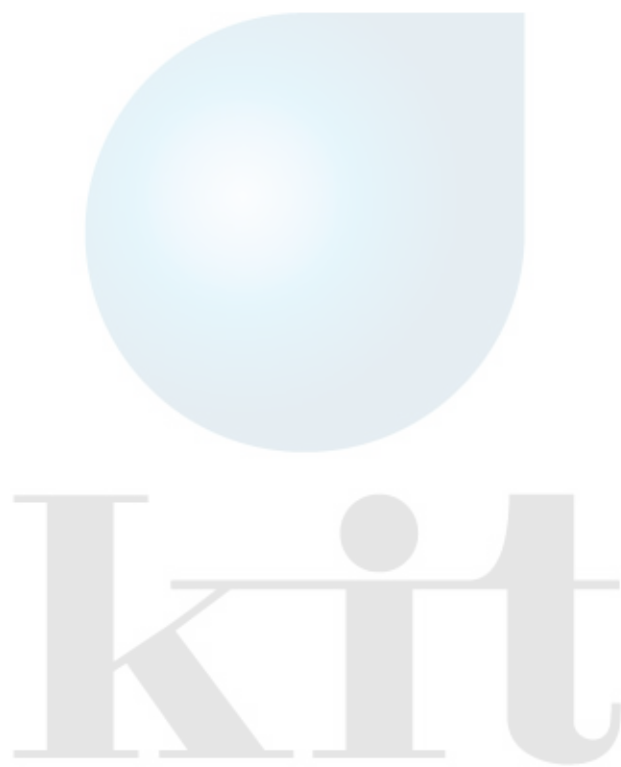
건축시공현장관리를 위한 가설공사 위험도 지수 모델 제안

2019 년 6 월

금오공과대학교 산업대학원

토목,환경및건축공학과

송 태 호



공학석사학위논문

건축시공현장관리를 위한 가설공사 위험도 지수 모델 제안

2019 년 6 월

금오공과대학교 산업대학원

토목,환경및건축공학과

송 태 호

건축시공현장관리를 위한 가설공사 위험도 지수 모델 제안

지도교수 하 영 철

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2019 년 6 월

금오공과대학교 산업대학원

토목,환경및건축공학과

송 태 호

송태호의 공학석사 학위논문을 인준함

2019 년 6 월

심사위원장 곽 윤 근



심 사 위 원 하 영 철



심 사 위 원 류 성 룡



금오공과대학교 산업대학원

Proposal of the Temporary Work Risk Index Model for Building Construction Field Management

Song Tae-Ho

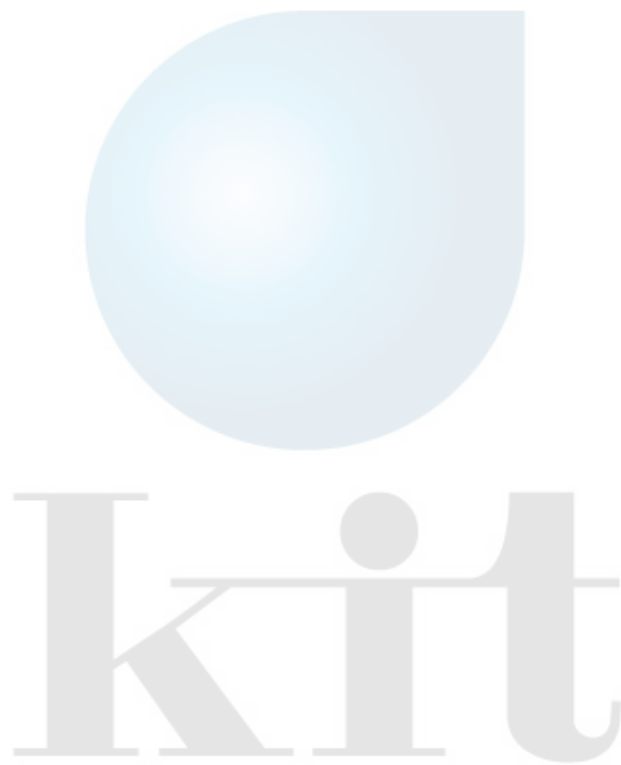
Department of Civil, Environmental and Architectural
Engineering,
Graduate School of Industry
Kumoh National Institute of Technology

Abstract

In recent years, the disasters of the construction industry has taken on a large portion of disasters occurring at industrial sites in Korea. The most disaster area in construction field is temporary work. Such a temporary work is likely to cause damage not only to the property but also to the life of the worker, which may hinder the smooth construction of the work site and reduce the morale of workers. Therefore, it is necessary to provide indicators to prevent and predict these temporary work disasters.

This study analyzed and indexed various major factors that may occur

in the construction work in the field of construction. A Construction Temporary-work Risk Index (CTRI) model was proposed to predict the temporary work disaster through the indexing of major factors. The validity of the CTRI was examined by applying the cases of the accident and the non-accident site.



건축시공현장관리를 위한 가설공사 위험도 지수 모델 제안

송 태 호

금오공과대학교 산업대학원 토목,환경및건축공학과

요 약

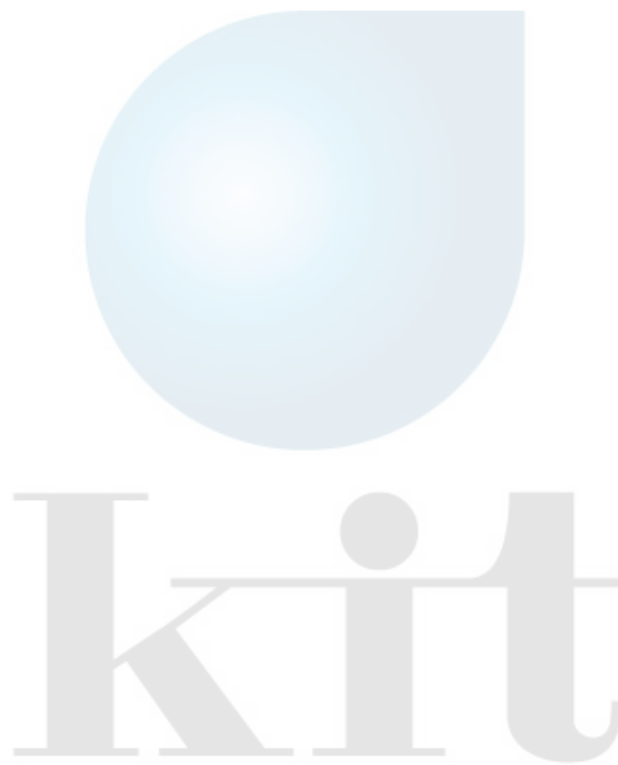
건축분야에서 발생하는 재해는 최근 우리나라 산업현장의 재해 통계에서 큰 비중을 차지하고 있다. 건축분야의 여러 공정 중에서도 특히 가설공사 공정에서 발생하는 재해가 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 가설공사 재해는 재산적 피해뿐만 아니라 인명피해를 발생시킬 가능성이 크기 때문에 현장의 원활한 공사 진행을 방해하고 작업자들의 사기를 저하시킬 수 있다. 따라서 이러한 가설공사 재해를 예방하고 예측할 수 있는 지표가 필요한 실정이다.

본 연구는 건축분야의 가설공사 공정에서 발생할 수 있는 여러 가지 주요 요소들을 분석하여 지수화 하였다. 주요 요소의 지수화를 통해 가설공사 재해를 예측할 수 있는 가설작업 위험도 지수(CTRI : Construction Temporary work Risk Index)모델을 제시하였으며, 제시한 CTRI에 사고현장과 무사고현장의 사례를 적용하여 타당성을 검토하였다.

목 차

[그림 차례]	i
[표 차례]	ii
[수식 차례]	iv
제 1 장 서론	1
1.1 목적 및 연구동향	1
1.2 연구방법 및 범위	4
제 2 장 이론적 고찰	5
2.1 가설공사의 정의 및 종류	5
2.1.1 직접(전용)가설공사	5
2.1.2 간접(공통)가설공사	7
2.2 건설작업온도지수의 프로토타입(CWTI)	8
2.3 개선된 건설작업온도지수(CWTI)	11
2.4 가설공사 위험도 지수(CTRI)	13
2.4.1 기상환경요소	14
2.4.2 작업조건요소	15
2.4.3 작업자조건요소	16
제 3 장 제안 및 적용	18
3.1 가설공사의 주요요소의 결정	18
3.1.1 기상조건 $E_{weather\ condition}$	19
3.1.2 작업규모 $W_{project}$	21
3.1.3 연관 작업공종 $W_{workprocess}$	22
3.1.4 작업시간대 $W_{time\ flow}$	24

3.1.5 작업자 숙련도 $H_{workmanship}$	26
3.1.6 작업자 평균연령 $H_{age\ average}$	28
3.2 가중 계수	30
3.3 가설공사 위험도 지수(CTRI) 모델제안	31
3.4 가설공사 위험도 지수(CTRI)의 적용	33
 제 4 장 결 론	 37
 [참고 문헌]	 39



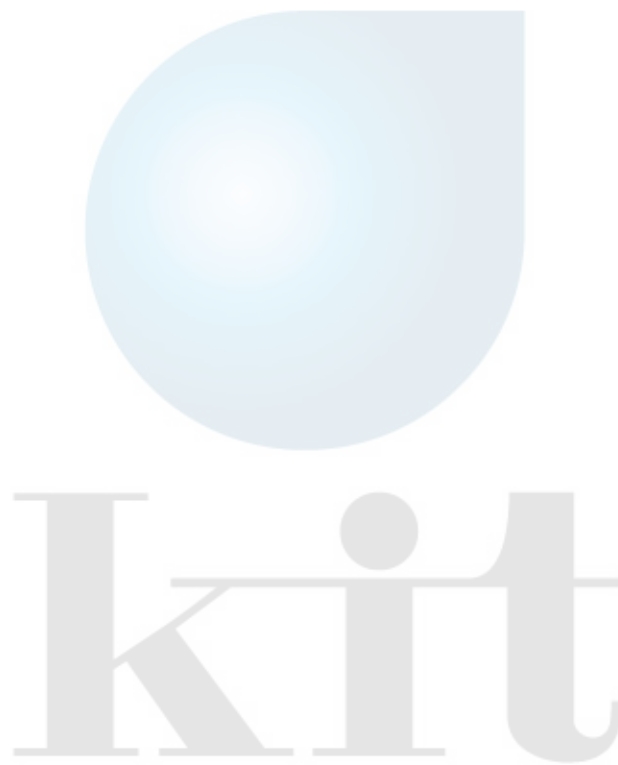
[그림 차례]

그림 1.1	연도별 건설공사 계약실적	1
그림 1.2	우리나라 업종별 안전사고 비율	2
그림 1.3	건설산업의 연도별 안전사고 발생건수	2
그림 2.1	온도에 의한 사고 횟수	14
그림 2.2	건설 노동자의 고령화 경향	17
그림 3.1	세부요인의 적용구간 및 적용 값	18
그림 3.2	2013년~2016년 월별 평균기온	19
그림 3.3	건설업에서의 월별 재해량	20
그림 3.4	구간별 재해량 그래프	20
그림 3.5	근로자 수에 따른 재해발생량	21
그림 3.6	작업규모 구간별 재해량	22
그림 3.7	연관 작업 공정별 재해량	22
그림 3.8	연관 작업공정 구간별 재해량	23
그림 3.9	시간대별 재해 발생량	24
그림 3.10	작업시간대 구간별 재해량	25
그림 3.11	작업자의 근속기간별 재해 발생량	26
그림 3.12	작업자 숙련도 구간별 재해량	27
그림 3.13	작업자 평균연령별 재해 발생량	28
그림 3.14	작업자 평균연령 구간별 재해량	29
그림 3.15	위험도지수(CTRI)의 구간설정	33
그림 3.16	사례적용 현장	34

[표 차례]

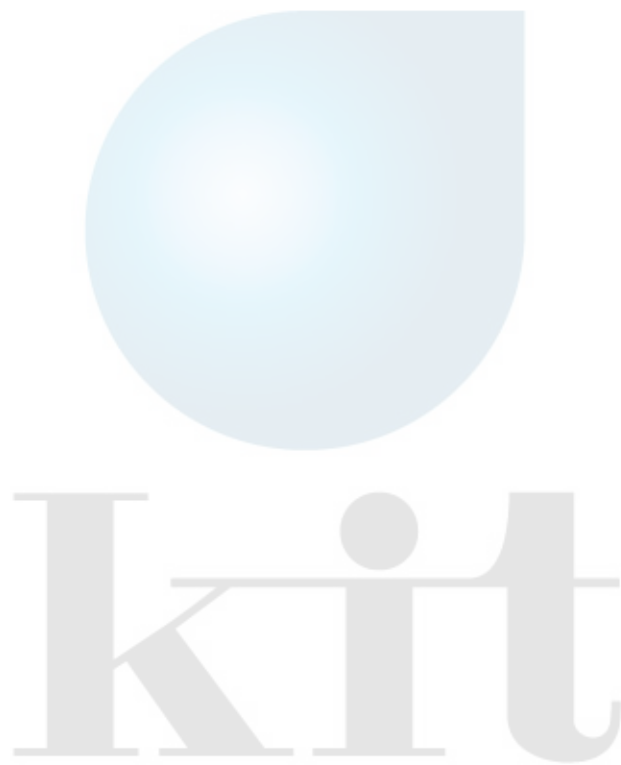
표 1.1	2014년도 업종별 재해 현황(명)	2
표 1.2	빌딩공사의 공종별 대분류 위험발생확률 분석	3
표 2.1	가설공사의 종류	5
표 2.2	WBGT : 5 폭염지수 위험기준	9
표 2.3	작업 환경의 대표적인 장소	10
표 2.4	$C_{pregressschedule}$ 의 분류	10
표 2.5	$C_{activity}$ 의 분류	11
표 2.6	H_{age} 의 분류	11
표 2.7	$H_{clothing}$ 의 분류	11
표 2.8	개선된 작업부위지수	12
표 2.9	개선된 작업강도지수 $W_{activity}$	12
표 2.10	개선된 복장지수 $H_{clothing}$	13
표 2.11	개선된 연령지수 H_{age}	13
표 2.12	가설시설물의 재해발생 형태별 재해의 유형	17
표 3.1	기상조건 구간별 재해량	20
표 3.2	작업규모 구간별 재해량	21
표 3.3	연관 작업공정 구간별 재해량	23
표 3.4	작업시간대 구간별 재해량	25
표 3.5	작업자 숙련도 구간별 재해량	27
표 3.6	작업자 평균연령 구간별 재해량	29
표 3.7	업종별 발생형태별 재해발생현황	30
표 3.8	주요요인별 재해 현황 및 비율	31
표 3.9	기상 조건	32
표 3.10	작업 규모	32
표 3.11	연관 작업공종	32
표 3.12	작업시간대	32
표 3.13	작업자 숙련도	32
표 3.14	작업자 평균연령	32

표 3.15 용인물류센터 신축현장 CTRI모델 적용	34
표 3.16 구미 D공장 신축현장 CTRI모델 적용	35
표 3.17 두 사례의 CTRI 세부요소 정리	36



[수식 차례]

수식 2.1	9
수식 2.2	12
수식 2.3	13
수식 3.1	31
수식 3.2	32



제 1 장 서 론

1.1 목적 및 연구동향

우리나라의 산업화는 1960년대 이후 급격히 진행되었고 이는 급격한 도시화를 야기 시켰다. 도시화로 인해 한 도시에 많은 인구가 밀집되면서 많은 인구를 한정된 토지에 수용하기 위하여 많은 공동주택과 편의시설들이 확충되었다. 계속되는 도시화의 진행과 더불어 건설기술의 발달로 건설용역은 매해 증가하였으며 [그림 1.1]을 통해 볼 수 있듯이 매해 40,000건 이상의 건설용역이 수행되었다[1].

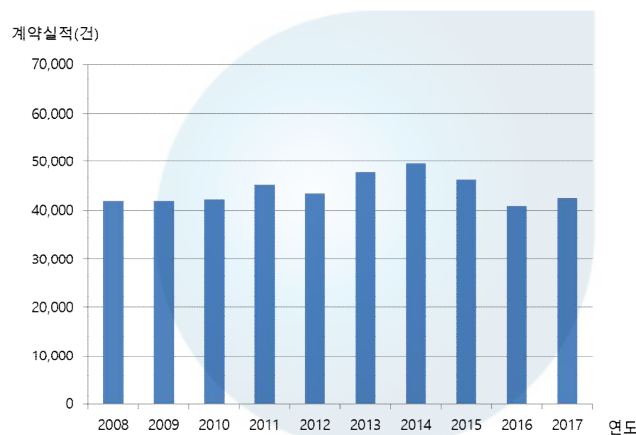


그림 1.1 연도별 건설공사 계약실적

건설현장은 많은 인력을 필요로 하기 때문에 현장의 관리, 감독 하에 용역이 수행되어도 안전사고에 대한 가능성은 상존한다고 볼 수 있다. [표 1.1]과 [그림 1.2]에 따르면 최근 우리나라에서 발생한 산업재해 가운데 건축분야가 29.3%의 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다[2]. 건설산업의 연도별 안전사고 발생률도 [그림 1.3]과 같이 점점 증가하고 있는 추세이다[1]. 이러한 건축분야 안전사고 중에서도 [표 1.2]와 같이 가설공사 관련 재해가 빈번하게 발생하고 있는 실정이다[3]. 가설공사는 건축공사의 여러 가지 공정이 원활하게 진행될 수 있도록 하는 공정이며 모든 공정을 위해 선행되는 작업이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 건축공사 중 가설공사에서 발생할 수 있는 주

요요인들을 파악하고 경영학 관리용 지수화 기법을 사용하여 현장에서 쉽게 예측하고 예방할 수 있도록 현장관리에 도움을 줄 수 있는 가설작업 위험도 지수 모델을 제한 하고자 한다.

표 1.1 2014년도 업종별 재해 현황(명)

	광업	제조업	건설업	전기가스 수도업	운수창고 통신업	기타산업	총계
재해자수	1,235	28,649	23,669	98	4,188	33,070	90,909

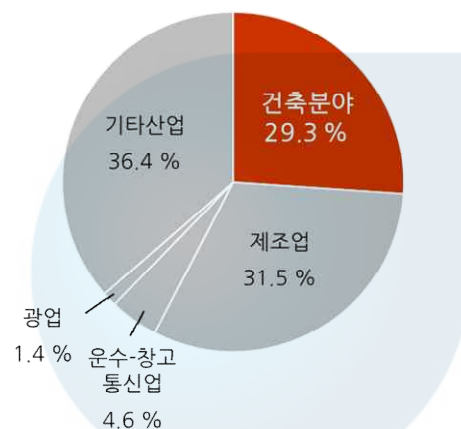


그림 1.2 우리나라 업종별 안전사고 비율

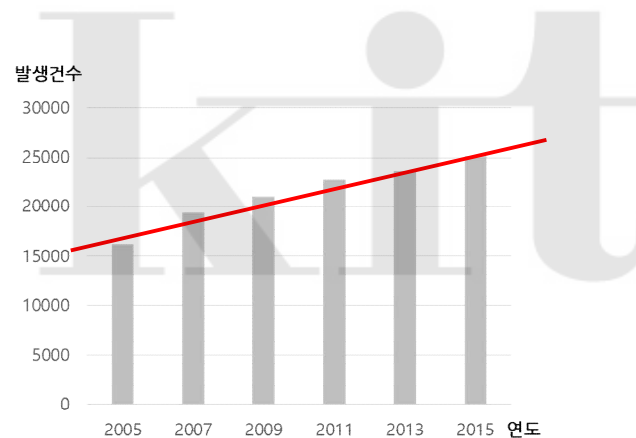


그림 1.3 건설산업의 연도별 안전사고 발생건수

표 1.2 빌딩공사의 공종별 대분류 위험발생확률 분석[3]

공사종류	공종 대분류	재해건수	위험발생확률 (%)
건축공사	가설공사	190	11.6
	토공사 및 기초공사	100	6.1
	철골공사	180	11.0
	거푸집공사	285	17.4
	철근공사	53	3.2
	콘크리트공사	90	5.5
	방수공사	27	1.7
	조적공사	34	2.0
	미장, 연출, 타일공사	88	5.4
	석/외벽공사	115	7.0
	유리 및 창호공사	38	2.3
	수장공사 및 금속잡철물 공사	16	1.0
	EV공사	42	2.6
	도장공사	60	3.7
	설비공사	103	6.3
	전기(통신)공사	39	2.4
	커튼월공사	3	0.2
	단열공사	7	0.5
	해체공사	21	1.3
	양중작업	75	4.6
	작업 외 이동	33	2.0
	기타	36	2.2
합계		1,635	100

건축시공분야 가운데 건축의 전반적인 관리를 하는 Construction Management(CM : 건설사업관리)에서 지수 및 관리기술의 융합연구는 비교적 활발한 편이며, 그중 지수개발을 통한 관리기술 연구는 이종국 외 5명의 “건설재해 예방을 위한 혹서기 건설작업온도지수 프로토타입개발”이 있다[4]. 이 연구에서는 건설안전에 있어 폭염에 대한 대비는 필수사항이라 언급하고 있으며, 건설현장의 특성을 고려한 폭염대비 관리 지표로서 건설작업온도지수를 제안하였다. 서용범은 “건설공사 현장의 이동식 크레인 작업 위험도 지수 개발”에서 건설공사 현장에서 필수적으로 사용되는 이동식 크레인을 운용하면서 발생할 수 있는 안전사고를 예측, 예방할 수 있도록 공사 현장의 주요요소들

을 지수화 하여 제안하였다[5]. 따라서 본 연구에서는 앞서 언급한 선행연구들과 같이 경영학의 관리용 지수화 기법을 이용하여 가설공사 공종에서 발생할 수 있는 안전사고를 예측 및 예방할 수 있도록 다양한 주요인자들을 분석하고 지수화한 ‘가설공사 위험도 지수’(Construction Temporary-work Risk Index, 이하 CTRI로 기술함)를 제안하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

기존의 CWTI(Construction Work Temperature Index)는 건설 작업현장의 요소들을 크게 온도지수, 작업지수, 인적지수로 구분하고 요인의 중요도를 배분하여 건설현장 작업자들의 안전사고를 예측 및 예방하기 위한 도구로서 제시되었다. 본 연구에서는 기존에 연구된 CWTI의 온도지수부분이 안전도와 유사하다 판단되어 기본 모델로 참고하였고 기상환경요소, 작업조건요소, 작업자 조건요소로서 3가지 보조지수를 두었다. 이를 분석하고 그래프로 도식화해 건설현장의 가설공사시 안전사고의 예방과 안전대책을 세워 재해를 최소화 하고자 한다.

제 2 장 이론적 고찰

2.1 가설공사의 정의 및 종류

가설공사란 건축공사 기간 중 임시로 설치하여 공사를 완성할 목적으로 쓰이는 제반 시설 및 수단의 총칭이고, 공사가 완료되면 해체, 철거, 정리하게 되는 임시적인 공사이다. [표 2.1]은 우리나라 건축공사 중 가설공사를 직접가설, 간접가설로 나누어 각 항목에 대하여 정리한 표이다.

표 2.1 가설공사의 종류[6]

	직접(전용)가설공사		간접(공통)가설공사	
정의	본 건물 축조에 직접 필요한 시설		공사장 내에서 공통으로 사용되는 것으로, 운영·관리상 필요한 가설시설이다.	
항목	기준틀	수평기준틀, 세로기준틀, 귀기준틀	가설건물	사무소, 기자재창고, 작업장, 숙소, 화장실, 식당 등
	먹매김	먹줄치기	전기 및 통신설비	변전소, 인터넷, 중계기
	비계설치	내부, 외부, 말비계, 달비계, 선반비계, 비계다리	용수설비	심정(우물), 상수도 사업관리
	안전설비	방호철망, 방호선반, 방호시트, 추락방지망, 낙하물 방지망 등	공사시설	가설울타리, 가설도로
	양중, 운반시설	타워크레인, 호이스트, 가설리프트 등	운반설비	공통가설에 수반되는 운반, 쓰레기처리
	건축물 보양설비	각종공사보양, 휘장막 등	기타	안전간판, 투시도(공사안내판)

2.1.1 직접(전용)가설공사[7]

가설시설물은 건설공사의 원활한 진행을 위하여 임시로 설치하여 사용하고 공사가 완료되면 해체 및 제거되는 시설물을 의미하며 건설공사에서는 보조적

인 역할을 한다. 이러한 가설공사에는 직접 가설공사가 있으며 직접 가설공사로 많이 사용되는 공종은 콘크리트 구조물 형성에 이용되는 거푸집공사 및 동바리 설치공사이다.

1) 거푸집공사

거푸집이란 콘크리트가 굳지 않은 상태 즉, 콘크리트가 유동성을 가지고 있는 시기부터 콘크리트가 경화하여 강도를 가지고 자립할 시기까지 콘크리트의 자중을 지지하는 가설구조물을 말하는 것이다. 콘크리트를 인정한 형상과 치수로 유지해 주며 경화에 필요한 수분의 누출을 방지하고 외기의 영향을 차단하여 콘크리트가 적절하게 양생되도록 하는 역할을 하는 가설구조물이다. 거푸집은 가설구조물이지만 거푸집 자체의 하중과 굳지 않은 콘크리트의 무게, 작업시의 재료, 장비, 인력 등의 의한 적재하중에 견딜 수 있도록 견고하여야 하며 원하는 모양과 크기의 콘크리트 구조물이 만들어질 수 있어야 한다.

콘크리트 공사 중 발생하는 안전사고는 그 대부분이 콘크리트 타설 중에 일어나며 이는 거푸집의 시공불량으로 인한 것이다. 이러한 거푸집 붕괴사고는 대형사고로 연결되어 인적 물적 피해는 물론 공기지연을 초래하게 된다. 더욱이 거푸집공사는 가설비계, 가설발판 등을 주로 사용하게 되어 안전사고의 발생 가능성이 매우 높고 거푸집 자체가 중량물이므로 안전에 취약할 수밖에 없다. 따라서 거푸집은 콘크리트의 자중, 측압 등의 고정하중뿐 만 아니라 설치작업 중에 작업자의 이동, 각종 소요자재 등의 적재하중에도 안전할 수 있게끔 구조적으로 검토되고 철저하게 확인되어야 한다.

2) 동바리 설치공사

동바리는 거푸집 및 장선, 멩에를 소정의 위치에 유지시키고 수평부재가 받는 하중을 하부구조에 전달하는 수직부재로서 동바리의 설치는 층고 및 슬래브의 두께 등의 조건과 상황에 따라 재료 및 방법을 달리하여 설치하여야 한다. 동바리의 사용재료에는 여러 종류가 있으나 건축현장에서 가장 많이 사용되는 동바리는 파이프 서포트, 강관틀 비계, 시스템 비계용 강관(시스템동바리)이다.

2.1.2 간접(공통)가설공사[8]

건설공사의 최종 성과물인 구조물을 구축하기 위하여 공통적으로 투입되어야 할 공통가설 작업항목의 요소는 가설건물, 가설울타리, 공사용수, 임시동력, 가설진입로, 실험 및 측량, 소모공구, 잡자재, 기타, 환수 등 10개의 항목으로 구성되어지며 각 구성별 특징은 다음과 같다.

1) 가설건물

가설 사무소, 숙소와 같이 현장 작업을 보조하기 위해 설치되는 임시 건물로서 가설사무실, 가설식당, 가설숙소, 가설창고, 경비실, 가설변소, 실험실, 세면장 및 샤워시설, 가설정화조, 내부 시설공사, 설비 및 전기, 레미콘 공사, 철거 및 처리, 기타 등이 있다.

2) 가설울타리

현장의 안전 및 경계를 설정하기 위하여 설치되는 울타리로서 현장출입구, 가설울타리, 강관 파이프류, 휘장막, 광고용 휘장막, 보호막, 분진망, 홍보물 설치, 유지보수비, 기존울타리 공사 등이 있다.

3) 임시동력

공사가 수행되기 위한 전력비용 및 전력을 설치하기 위하여 수반되는 항목으로서 임시동력, 옥내 가설 전기시설, 전력사용료, 전기보안 대행료, 가설피뢰침 등이 있다.

4) 공사용수

습식공사 및 현장에 필요한 용수를 제공하기 위한 것으로 심정개발비, 공사용수 가설배관, 공사용 물탱크, 상하수도 사용료, 인입공사비, 공사용수 등이 있다.

5) 가설진입로 및 중기사용

장비 및 인력이 공사 수행 시 원활하게 진입할 수 있도록 진행되는 항목으로 가설진입로, 세륜시설, 도로청소 및 유지보수비, 주변도로 보수비, 분담금 및 임차비, 중기사용료, 유류대, 쓰레기반출 등이 있다.

6) 실험기기 및 측량기구

본 공사의 품질 및 안전에 필요한 실험 및 측량에 필요한 구성요소이며 실험실기구, 측량기, 측정기, 검사 및 시험, 진단비용 등이 있다.

7) 잡자재

간접적으로 투입되는 소규모 자재를 의미하고 잡자재, 소모성 자재 등이 있다.

8) 소모공구

펌프, 모터 등의 소모성 공구 항목이며 양수기, 펌프, 모터, 리어카, 호스류, 보수비 등이 있다.

9) 기타

대표적인 민원대책 비용 및 부가적 발생 항목으로서 통신, 안내 및 홍보, 민원처리, 평가 및 진단, 기타, 사업승인조건 등이 있다.

10) 환수

임시동력 공사 등의 예치금 및 불용성 자재의 환수 등으로 발생하는 항목으로서 예치금, 철거자재, 임대비 등이 있다.

2.2 건설작업온도지수의 프로토타입(CWTI)[9]

건설작업온도지수(CWTI)는 기존의 국제표준화기구에 등록되어 있는 온도 지수인 WBGT를 참고하여 개발된 지수이다[10]. WBGT(Wet Bulb Globe Temperature Index)는 고온 환경을 평가하는 온열지표이며 공기의 온도, 습도, 기류 및 주위의 열복사를 고려한 지표이다. 이 지수는 미군의 훈련 시 열사병의 예방을 목적으로 1957년 미국에서 제안된 지표이다[11]. 우리나라 국방부와 노동부에서도 이와 같은 WBGT를 이용하여 기준을 정하고 있으나 측정이 어렵고 범용성이 부족하여 활용도가 낮은 편이다. WBGT는 현재 다양한 나라 등에서 열사병 예방에 많이 활용되고 있으며 ISO기준에 채택되어 국제적으로 표준화되었다. 현재 우리나라는 WBGT와 같이 독자적인 폭염지수 위험기준은 제시되어 있지 않고, [표 2.2]와 같이 일본의 기준을 참고하여 사용하고 있다.

CWTI는 WBGT에서 고려하지 않는 작업의 종류나 장소, 작업자의 특성을 고려하여 WBGT와는 차별화된 건설현장에 적합한 온도지수로 개발되었다. 작업현장에 존재하는 요인들을 구분하고 각 요인들마다 공학적 판단에 근거하여

중요도를 배분하고, 그를 통해 산출된 지수를 활용하여 혹서기 폭염 시 건설 현장의 작업자들에게 발생할 수 있는 안전사고를 미연에 방지 및 예측하기 위한 지수이다.

표 2.2 WBGT : 5 폭염지수 위험기준

Levels	WBGT	Information and exercise guidelines for the prevention of heat stroke
Very dangerous	More than 31	Prohibition of Exercise
Dangerous	28~31	High risk of heat stroke. Avoidance of strenuous exercise. Plenty of rest and water
Alertness	25~28	Increased risk of heat stroke. Severe exercise : 30 minutes or less. Sufficient water intake
Caution	21~25	Presence of heat stroke. Active water intake
Safety	Less than 21	Almost no heat stroke. Water supply needs

CWTI의 요인들에는 크게 온도지수, 작업지수, 인적지수를 두고 있으며 식 (2.1)과 같이 나타낸다.

$$CWTI = w_1 TI + w_2 WI + w_3 HI \quad (2.1)$$

(단, $w_1 + w_2 + w_3 = 1$)

여기서, TI (Temperature Index) = WBGT지수

$$WI \text{ (Work Index)} = C_{progressschedule} + C_{activity}$$




$$HI \text{ (Human Index)} = H_{age} + H_{clothing}$$

w = 비율계수

TI (Temperature Index)는 WBGT지수로서 그대로 반영하여 가중치만 변화 주고 대표적으로 작업이 이루어지는 공간을 [표 2.3]과 같이 구분하여

WBGT를 측정하였다. 나머지 작업지수 WI (Work Index)와 인적지수 HI (Human Index)를 다음과 같이 설정하였다.

표 2.3 작업 환경의 대표적인 장소

outdoor under direct solar irradiance	outdoor without direct solar irradiance
	
indoor on the ground	indoor under the ground
	

건설현장의 장소요인을 설정하기 위한 작업지수인 WI (Work Index)는 $C_{progressschedule} + C_{activity}$ 로 나타낼 수 있으며, $C_{progressschedule}$ 는 작업공기를 의미하여 [표 2.4]와 같이 10부터 25까지 5단위로 값을 할당하였다. $C_{activity}$ 는 작업종류로서 위와 마찬가지로 [표 2.5]와 같이 나타내어 값을 산정하였다.

표 2.4 $C_{progressschedule}$ 의 분류

Progress Schedule	Index Value
Earthwork and foundation	25
Frame construction	20
Indoor work exposed to outdoor air	15
Work blocking outdoor air	10

표 2.5 $C_{activity}$ 의 분류

Activity	Index Value
Work needed in jogging	25
Carrying heavy objects	20
Walking work	15
Working in a standing position	10

작업자의 인적요인을 설정하기 위한 인적지수인 HI (Human Index)는 $H_{age} + H_{clothing}$ 와 같이 나타낼 수 있으며 H_{age} 와 $H_{clothing}$ 는 각각 작업자의 연령, 작업자의 복장특성을 의미한다. H_{age} 는 다음의 [표 2.6]과 같이 5가지 값으로 분류하였으며, $H_{clothing}$ 는 [표 2.7]과 같이 4가지의 값으로 분류하였다.

표 2.6 H_{age} 의 분류

Age	Number of Accidents	Percentage(%)	Index Value
20s	388	1	0
30s	2,020	9	5
40s	6,248	27	15
50s	9,763	42	20
60s	4,926	21	10

표 2.7 $H_{clothing}$ 의 분류

Type	Index Value
No working clothes	5
Basic clothing	10
Basic clothing +2	15
Basic clothing +3	20

이와 같이 온도지수, 작업지수, 인적지수로 구분을 하고 가중치 w 를 설정하여 건설현장의 기후조건에서 더 나아가 작업장소 및 작업자의 특성에 따른 차별화된 온도지수를 제공할 수 있다.

2.3 개선된 건설작업온도지수(CWTI)[12]

제시된 CWTI 프로토타입의 경우는 Index Value의 근거자료가 부족하다고

판단, 따라서 각종 지수를 실험과 현장의 조건에 맞춰 개선된 CWTI가 제시되었고 식(2.2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$CWTI = w_1 TI + w_2 WI + w_3 HI \quad (2.2)$$

(단, $w_1 + w_2 + w_3 = 1$)

여기서, TI (Temperature Index) = WBGT 온도지수

$$WI \text{ (Work Index)} = W_{activity} + W_{openness ratio}$$

$$HI \text{ (Human Index)} = H_{age} + H_{clothing}$$

w = 비율계수

개선 사항으로는 같은 조건에 속하더라도 높이에 따라 온도차이가 클 수 있기 때문에 작업장소의 지수를 수정하였고 미국의 ACDIH 고온의 허용온도 레벨에 따라 작업강도 $W_{activity}$ 를 수정하였다. 복장지수 $H_{clothing}$ 는 현장조사 작업자의 실험 및 설문조사를 통해 수정하였고 연령지수 H_{age} 는 한국 스포츠개발원에서 발표한 국민 체력실태조사의 결과를 바탕으로 개선하였다[13]. 그 결과는 [표 2.8]~[표 2.11]에 나타냈다.

표 2.8 개선된 작업부위지수

세부사항	Index Value
최상층	0
중간층	7
지하층	25

표 2.9 개선된 작업강도지수 $W_{activity}$

세부사항	Index Value
지극히 경작업	0
경작업	8
중등도 작업1	13
중등도 작업2	21
중작업	25

표 2.10 개선된 복장지수 $H_{clothing}$

세부사항	Index Value
Basic Clothing -2	3
Basic Clothing -1	6
Basic Clothing 0	13
Basic Clothing +1	19
Basic Clothing +2	25

표 2.11 개선된 연령지수 H_{age}

세부사항	Index Value
19~29	-0.5
30~39	5.5
40~49	11.5
50~59	18
60~64	25

2.4 가설공사 위험도 지수(CTRI)

가설공사 위험도 지수(Construction Temporary-work Risk Index, 이하 CTRI)는 건설공사 중 가설작업에 관련하여 가설공사 중 안전사고가 발생할 수 있는 위험정도를 수치화한 것이다. 이를 위하여 기존의 연구인 [12]를 참고하여 건설현장의 가설공사에서 상존하고 있는 주요요소를 크게 기상환경요소, 작업조건요소, 작업자조건요소 세 가지로 정의하였다. 이 세 가지 요소를 세분화 하여 주요요인으로 정의하였고 식(2.3)과 같이 나타냈다.

$$CTRI = w_1 Ef + w_2 Wf + w_3 Hf \quad (2.3)$$

여기서, $w_1 + w_2 + w_3 = 1$

$$Ef \text{ (Environmental Factor)} = E_{weather\ condition}$$

$$Wf \text{ (Work Traits Factor)} = (W_{time\ flow} + W_{work\ process} + W_{project})/3$$

$$Hf \text{ (Human Factor)} = (H_{workmanship} + H_{age\ average})/2$$

2.4.1 기상환경요소

건설현장에서 고온다습은 작업자들에게 나쁜 영향을 미치며, 때로는 위험요소로 작용할 수 있다. 작업자들이 고온에 장기간 노출될 경우, 지각과 조절능력이 떨어지고 심해지면 의식을 잃을 수 있다. 일반 성인이 작업을 진행하면서 견딜 수 있는 온도의 한계는 약 23ET(Effective Temperature)으로 알려져 있다.

23ET는 온도 23도-상대습도100%, 온도32도-상대습도50%와 온도38도-상대습도10%에 해당한다[14]. 이와 같은 온도와 상대습도 이상의 조건에서 작업을 진행하는 경우, 작업자가 안전사고를 일으킬 가능성이 있으며 지속적인 휴식이 권장된다. 선행연구의 실험결과에 따르면, 저온보다 고온에서 고된 작업을 하는 경우의 발한 속도는 2L/h이상인 것으로 나타났으며, Müller는 1.5L이상의 탈수는 심박수를 10번/분 증가시켜 약 8도의 체온 상승에 해당하는 작업자의 스트레스를 유발한다고 명시하고 있다[14]. 이러한 고온의 작업환경으로 인한 스트레스는 앞서 언급한 신체기능과 지각 및 조절능력을 저하시키고 심하면 의식불명 상태를 불러일으킬 수 있으며, 안전사고를 유발시킬 수 있다. 고온으로 인해 발생하는 안전사고에 대한 외국의 연구결과를 보면 [그림 2.1]과 같다[15]. [그림 2.1]을 보면, 온도가 약 14도~24도 일 때 안전사고가 상대적으로 적게 발생하는 것을 알 수 있다.

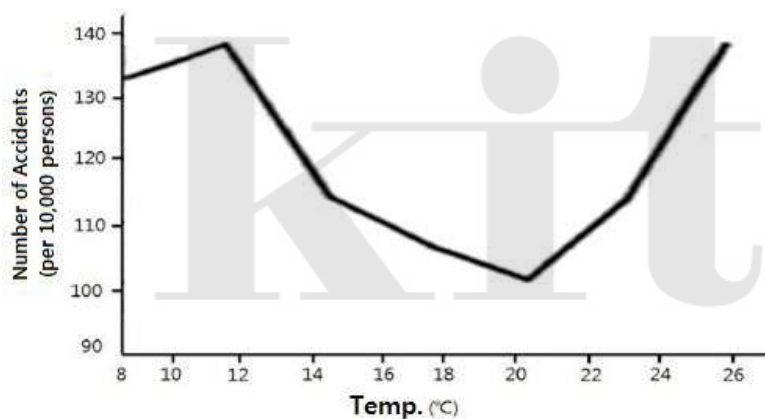


그림 2.1 온도에 의한 사고 횟수[9]

따라서 기상환경요소로서 기상조건(Weather Condition)이라는 세부요인 $E_{weather\ condition}$ 을 정의하였다. 기상조건을 분석하기 위해 고용노동부에서 발행한 고용노동백서를 이용하여 월별 재해량을 분석하였고, 기상연보 및 기상월보를 참고하여 월별 평균기온을 조사하여 나타냈다. 사고사례를 조사하여 사례에 따른 평균기온을 파악하기에는 사고사례에 대한 데이터 수가 부족하였기 때문에 역으로 월별 재해량을 파악하고 기상청을 통해 당월의 평균기온을 적용하였다.

2.4.2 작업조건요소

건설공사는 공기에 매우 민감하기 때문에 원활한 작업의 진행을 위하여 계획된 공정에 맞추어 작업을 진행한다. 따라서 공정이 변함에 따라 작업환경이 변하게 된다. 또한 현재에 들어 고층건물 및 대단지 공동주택들이 늘어남에 따라 건설현장이 다양화, 복잡화, 대형화 되고 있고 같은 현장일지라도 매우 높은 빈도로 다양한 공종들이 동시에 진행된다. 이러한 공종들에 선행되는 작업으로서 가설공사는 필수적이고 어떠한 공종이든 거의 대부분 가장 최우선적으로 수행되어야 될 공종이기 때문에 가설공사는 어떠한 공종과도 겹칠 수 있고 어떠한 시간대에서도 수행될 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한 건설공사가 진행되는 작업장의 규모에 따라서도 영향을 받는다. 소규모 현장에선 주로 인력을 이용하여 가설시설을 설치하지만 대규모 현장에선 그 규모와 비례하여 가설시설이 거대하고 많은 양이 필요하다. 그러므로 인력만으로는 많은 가설시설의 설치 및 해체에 한계가 있기 때문에 주로 기계장비를 이용하여 가설시설을 설치하게 된다. 이러한 가설공사의 특성을 고려하여 건설현장에서 가설작업에 대한 관리 시 연관된 요소들에 따른 차등관리가 필요하다고 판단된다.

작업조건요소의 세부요소로서 작업규모(Scale of Project) $W_{project}$ 는 건설현장에서의 근로자 수를 기준으로 판별하였고 노동청의 산재현황 분석 자료를 참고하여 근로자 수에 따른 재해 발생량을 추정하여 적용 구간을 설정 및 정의하였다.

작업조건요소의 세부요소인 연관 작업공정(Work Process) $W_{workprocess}$ 는 모든 공종에서 가설공사가 선행되기 때문에 공종별 재해건수를 적용구간 및

적용 값을 정의하였다.

작업조건요소의 마지막 세부요소로서 작업시간(Work Time-flow)인 $W_{time\ flow}$ 은 위에서 언급한 대로 가설작업은 어떠한 공종과도 연관되고 선행되기 때문에 건설현장에서 가장 재해가 많이 발생한 시간대를 조사하여 값을 지정하고 차등하였다.

2.4.3 작업자조건요소

근래에 들어 건설기술의 발달로 인해 건설현장이 대규모화되고 자동화, 기계화가 되고 있지만, 건설현장은 특성상 작업자들에 의한 노동력 중심으로 이루어질 수밖에 없다. 따라서 노동력을 제공하는 작업자들의 인적요소 분석은 필수적이라 할 수 있다. 또한 가설공사의 특성상 기계적인 부분이 아닌 인력을 통해 수동으로 설치되는 부분들이 많아 작업자의 숙련도와 연령에 매우 밀접한 관련이 있다. 따라서 인적요소가 재해원인 중 가장 크게 작용하는 것으로 나타나고 있다[7].

건설현장의 작업자의 수는 [그림 2.2]의 통계청 자료에 따르면 매년 건설업의 고용인구가 증가하는 추세를 보이고 있으며 그와 비례하여 50세 이상의 고령작업자도 꾸준히 증가하고 있다[16]. 또한 대한건설협회의 2012년도 민간건설백서에 따르면 50세 이상은 육체노동에 대한 신체기능이 매우 떨어지며, 이러한 고령근로자가 62.9%를 차지하고 매년 증가한다고 언급하고 있다[17]. 건설업은 산업의 특성상 고층에서의 작업이 주를 이루기 때문에 [표 2.12]와 같이 추락재해 비중이 안전사고의 큰 비중을 차지하고 있으며[7], 뇌-심혈관 질병으로 인한 사망자의 비중도 증가하고 있는 추세이다. 이러한 질환들로 인해 가설공사 중 높은 곳에서 추락하게 되는 경우도 빈번하게 발생하고 있다.

작업자 조건요소의 세부요소로서 작업자 숙련도(Workmanship)인 $H_{workmanship}$ 은 작업자의 경력 근속 기간별 재해 발생량을 참고하여 지수를 산출하였다.

작업자 조건요소의 세부요소인 작업자 평균연령(Average Age) $H_{age\ average}$ 은 작업자의 평균 연령별 재해 발생량을 참고하여 구분하였고 연령대 별 지수를 산출하여 차등 적용하였다.

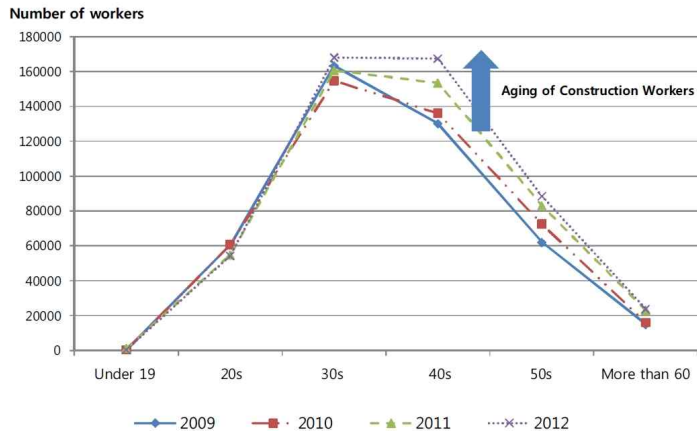


그림 2.2 건설 노동자의 고령화 경향

표 2.12 가설시설물의 재해발생 형태별 재해의 유형[18]

재해유형	작업공종	건수	소계	합계
추락	거푸집 운반	21	131	234
	거푸집 조립	65		
	콘크리트 타설	8		
	거푸집 해체	37		
붕괴 도괴	거푸집 운반	4	45	
	거푸집 조립	13		
	콘크리트 타설	27		
	거푸집 해체	1		
낙하 비래	거푸집 운반	12	34	
	거푸집 조립	4		
	콘크리트 타설	3		
	거푸집 해체	15		
협착	거푸집 운반	5	9	
	거푸집 조립	1		
	콘크리트 타설	1		
	거푸집 해체	2		
감전	거푸집 운반	2	10	
	거푸집 조립	1		
	콘크리트 타설	4		
	거푸집 해체	3		
기타	거푸집 운반	3	5	
	거푸집 조립	1		
	콘크리트 타설	1		
	거푸집 해체	1		

제 3 장 제안 및 적용

3.1 가설공사의 주요요소의 결정

가설공사 위험도 지수(Construction Temporary-work Risk Index, 이하 CTRI)는 건설공사 중 가설작업에서 발생할 수 있는 안전사고를 예측하고 방지할 수 있는 지표이다. 이를 산출하기 위해 건설현장에 상존하고 있는 위험 관련 주요요소로서 크게 기상환경요소, 작업조건요소, 작업자조건요소 등 세 가지로 구분을 하였다. 이 세 가지 주요요소를 기상환경요소는 기상조건으로, 작업조건요소는 작업규모 및 연관 작업공종, 작업시간대로, 작업자조건요소는 작업자 숙련도 및 작업자 평균연령으로 세분화 하였다.

이러한 위험도의 여섯 가지 세부요인에 대한 지수화를 위하여 각각 요인별 적용구간을 [그림 3.1]과 같이 설정하였다. 각 세부요인에서 재해가 가장 많이 발생했던 구간을 가장 불리한 값인 100으로 적용하고 그 다음으로 재해가 많이 발생했던 구간을 80으로 하고 순차적으로 20씩 차등하여 총 100부터 20까지 5구간을 만들어 적용구간 및 적용 값을 설정하였다.

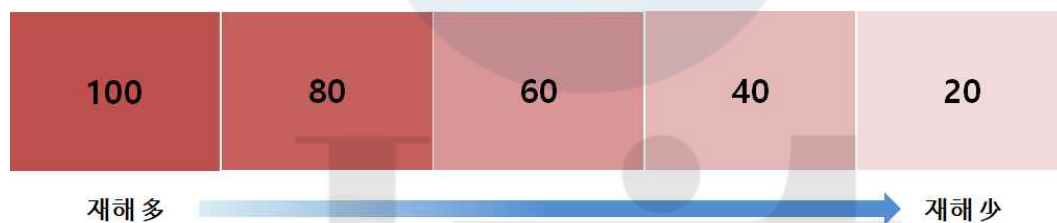


그림 3.1 세부요인의 적용구간 및 적용값

적용구간 및 적용 값은 재해율에 대한 통계자료와 전문가의 자문을 통하여 설정하였다. 이러한 적용구간의 선정과 적용 값의 결정은 건설현장의 위험도에 대한 적용구간 범위와 연계하여 일차적으로 정의하고, 마지막으로 실제 사고사례와 사고가 나지 않은 사례에 대해 CTRI를 적용하고 비교하여 환류조정을 통하여 CTRI모델을 완성한다.

3.1.1 기상조건 $E_{weather\ condition}$

재해가 많이 발생하는 기상조건을 조사하기 위해선 다양하고 많은 가설공사 재해 사례를 조사하고 안전사고가 발생했을 때의 기온을 조사하여야 한다. 하지만 이러한 통계적인 방법으로 적용 값을 산출하기 위해선 수많은 재해사례조사가 필수적이며 수많은 재해사례를 찾는다 하여도 모든 재해사고 당시의 온도를 파악하기에는 많은 시간과 노력이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 사고사례에서 기온의 파악이 어렵기 때문에 역으로 월별 재해량[19]을 먼저 파악하고 기상청을 통해 당해 평균기온을 적용하였다[20].



그림 3.2 2013년~2016년 월별 평균기온

[그림 3.2]는 2013년도부터 2016년도까지의 월별 평균기온을 평균한 것이다. 해당 통계자료를 이용하여 총 5개 구간으로 구분을 하였고 각 구간별 평균기온을 평균하여 다음과 같이 구획을 정하였다.

- 1) 3~4월 (9.8도)
- 2) 5~6월 (20.2도)
- 3) 7~9월 (24.0도)
- 4) 10~11월 (12.6도)
- 5) 12~2월 (1.0도)

다음으로 한 해 동안 발생한 건설현장의 재해를 월별로 구분하여 월별 재해량을 조사하였다. [그림 3.3]은 2014년도에 발생한 월별 재해량이며, [표 3.1]은 위에서 구획한 5개 구간에 해당하는 월별로 재해량을 나타낸 자료이다.

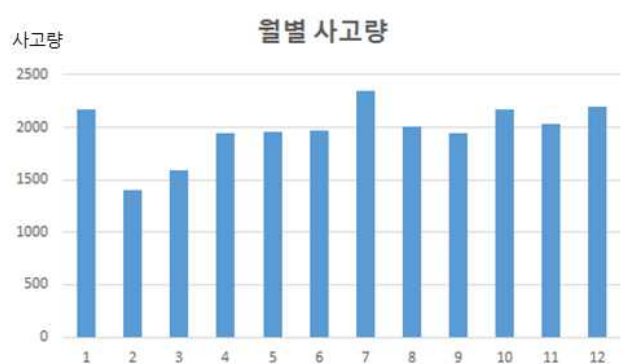


그림 3.3 건설업에서의 월별 재해량

표 3.1 기상조건 구간별 재해량

구분	3월~4월	4월~6월	7월~9월	10월~11월	12월~2월
재해량	3,536	3,917	6,274	4,187	5,755
비율	15%	17%	27%	18%	24%

[그림 3.4]를 참고하면 7월~9월(24도)에서 가장 사고비율이 높았고 3월~4월(9.8도)에서 가장 낮은 비율을 나타냈다. 이는 온도가 높은 혹서기에는 고온으로 인해 작업자들이 작업 중 스트레스와 신체이상을 보이기 때문에 비율이 높게 나온 것으로 판단된다. 본 통계자료를 이용하여 7월~9월은 100, 12월~2월은 80, 10월~11월은 60, 4월~6월은 40, 3월~4월은 20의 구간 값을 적용하였다.

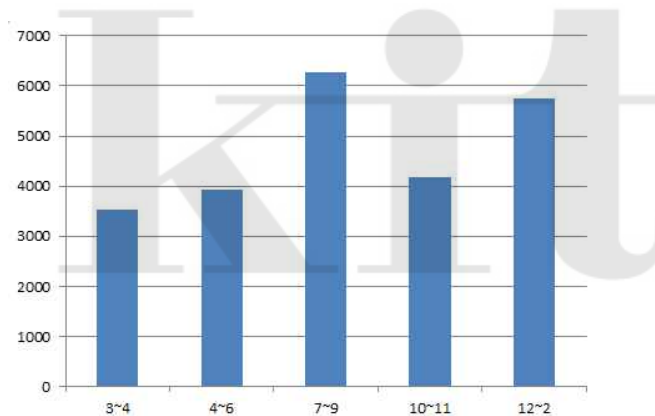


그림 3.4 구간별 재해량 그래프

3.1.2 작업규모 $W_{project}$

작업규모에 따른 재해량을 파악하기 위해서 노동청에서 제공하는 산업재해 현황분석을 참고하였으며 건설현장의 근로자 수에 따른 재해 발생량을 조사하여 [그림 3.5]와 같이 나타냈다[19].



그림 3.5 근로자 수에 따른 재해발생량

[그림 3.5]을 참고하여 근로자 수에 따른 재해발생량의 구간을 5~9명, 10~49명, 50~299명, 300~999명, 1000명이상으로 구분하여 건설현장의 작업규모를 정의 하였다. 이러한 구분에 따른 재해 발생량을 [표 3.2]와 [그림 3.6]에 나타냈다.

표 3.2 작업규모 구간별 재해량

구분	5~9명	10~29명	50~99명	300~499명	1000명 이상
재해량	12,887	7,061	2,879	693	149
비율	54%	30%	12%	3%	1%

[그림 3.6]을 참고하면 5~9명 구간에서는 54%의 매우 높은 재해비율을 나타냈으며 1000명 이상의 구간에선 1%의 매우 낮은 비율을 나타내고 있다. 이는 작업규모가 작으면 건설현장에서 진행되는 모든 공종에 대한 가설공사도 규모가 작기 때문에 주로 인력을 통해 수행된다. 하지만 작업규모가 크다면 그만큼 작업자들의 수도 많다는 것을 의미하고 그만큼 크고 복잡한 건축물을 짓는다는 것을 알 수 있다. 따라서 대규모 건축물의 가설공사를 위해선 인력

으로 인한 설치 및 해체작업이 한계가 있기 때문에 기계장비를 이용하게 되므로 이러한 통계적인 특성을 보인 것으로 판단된다.

따라서 [그림 3.6]을 참고하여 5~9명은 100, 10~29명은 80, 50~99명은 60, 300~499명은 40, 1000명 이상의 작업규모는 20의 구간 값을 적용하였다.

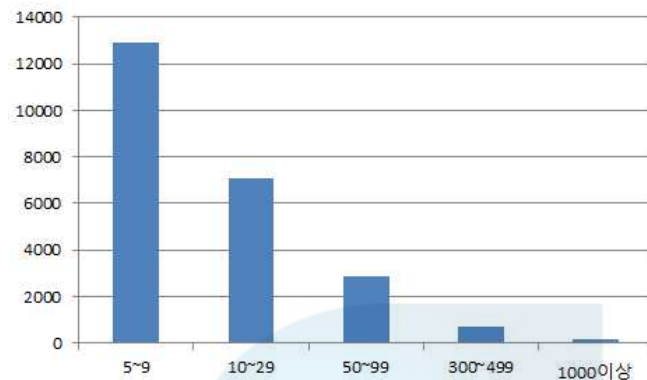


그림 3.6 작업규모 구간별 재해량

3.1.3 연관 작업공종 $W_{workprocess}$

가설공사는 건설공사에서 어떤 공정이든 공정이 진행되기 이전에 선행되어야 하며 가설시설물이 설치됨으로써 건설공사의 공정들이 원활하게 수행되고 진행될 수 있도록 한다. 따라서 가설공사는 모든 공정과 연관이 있다고 할 수 있다. 본 연구의 연관 작업공종에 대한 지수는 작업 순서에 따른 사고발생량을 파악하여 [그림 3.7]에 나타내었다[18].

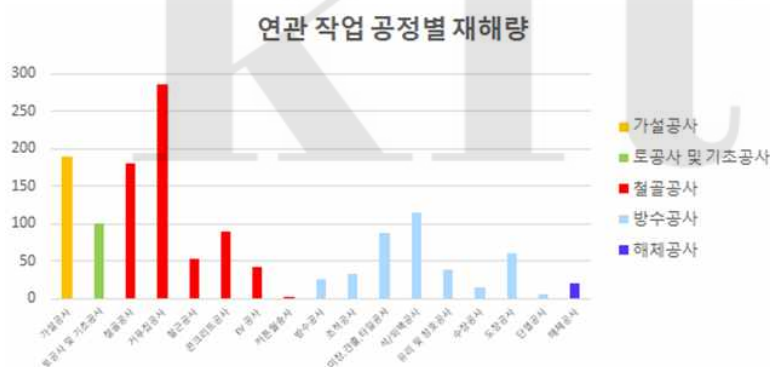


그림 3.7 연관 작업 공정별 재해량

총 22가지로 분류되어 있는 공정을 가설공사와 밀접한 관련이 있다고 판단되는 공정 즉, 17가지로 선별하여 [그림 3.7]에 나타냈고 다음과 같이 5가지 공정으로 구분하였다.

1) 가설공사

가설공사

2) 토공사

토공사 및 기초공사

3) 골조공사

철골공사, 거푸집공사, 철근공사, 콘크리트공사, E/V공사 커튼월공사

4) 마감공사

방수공사, 조적공사, 미장-견출-타일공사, 석/외벽공사, 유리 및 창호공사, 수장공사, 도장공사, 단열공사

5) 해체공사

해체공사

위와 같이 총 5가지로 공정을 구분하였고 그에 따른 재해량을 [표 3.3]과 [그림 3.8]에 나타냈다.

표 3.3 연관 작업공정 구간별 재해량

구분	가설공사	토공사	골조공사	마감공사	해체공사
재해량	192	100	651	385	21
비율	14%	7%	48%	29%	2%



그림 3.8 연관 작업공정 구간별 재해량

5가지 구간 중 골조공사가 48%로 가장 높은 재해율을 나타내고 있으며 해체공사가 2%로 가장 낮은 비율을 나타내고 있다. 이는 건축물을 축조하기 위해 가장 중요한 공정인 골조공사에서 많은 인력을 필요로 하고, 그로 인해 인력을 수용할 수 있는 많은 가설시설이 필요하기 때문이라 판단된다. 반대로 토공사의 경우, 인력보다는 굴삭기 또는 덤프 등의 기계장비를 주로 사용하기 때문에 낮은 비율을 나타낸 것으로 보인다.

[그림 3.8]과 표[3.3]을 참고하여 각 구간별로 값을 정의하였으며 골조공사는 100, 마감공사는 80, 가설공사는 60, 토공사는 40, 해체공사는 20으로 정의하였다.

3.1.4 작업시간대 $W_{time\ flow}$

건설현장에서는 다양한 공정들이 있으며 그에 따라 다양한 작업자들, 시간대에 작업이 이루어진다. 본 항에서는 작업시간에 따른 재해 발생량 조사하여 구간 값을 정의하였다. 기상조건항과 마찬가지로 재해가 발생한 사례를 수집하여 사례의 작업시간들을 조사하기엔 자료의 범위가 너무 광범위하기 때문에 건설현장에서 작업이 이루어지는 시간대를 조사하고 그에 따른 재해량을 파악하여 구간을 정의하였다. [그림 3.9]에 시간대별 재해발생량을 나타냈다[19].

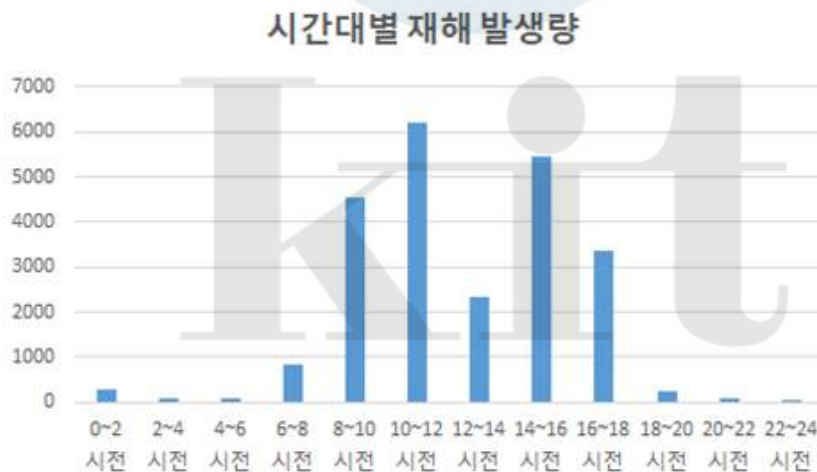


그림 3.9 시간대별 재해 발생량

[그림 3.9]를 참고하면 건설현장은 주로 6시부터 18시까지 활발하게 진행이 되기 때문에 그 이외의 시간대에는 재해량이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 이를 참고하여 8시 이전, 8:00~12:00, 12:00~16:00, 16:00~18:00, 18시 이후로 총 5구간으로 구분하였고 [그림 3.10]과 [표 3.4]에 재해율을 나타냈다.

표 3.4 작업시간대 구간별 재해량

구분	8시 이전	8:00~12:00	12:00~16:00	16:00~18:00	18시 이후
재해량	1,260	10,738	7,812	3,385	421
비율	5%	45%	33%	14%	2%

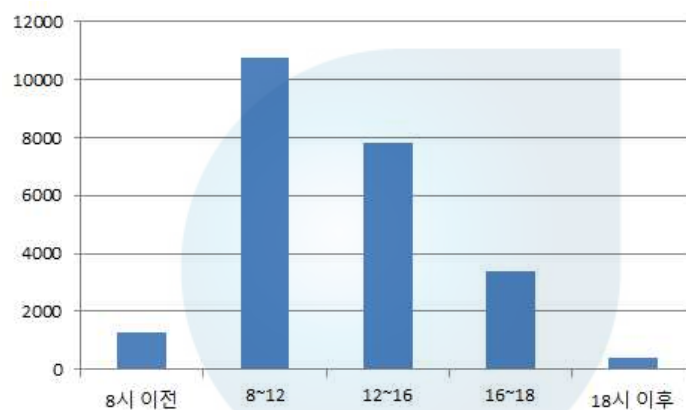


그림 3.10 작업시간대 구간별 재해량

[그림 3.10]을 보면 위에서 언급한 것과 마찬가지로 8시 이전과 18시 이후에는 건설공사가 진행되지 않기 때문에 재해량이 매우 낮은 것을 알 수 있으며 공사가 주로 시작되는 8시부터 16시까지 재해량이 총 78%로 가장 큰 것을 알 수 있다. 이때, 8:00~12:00구간에서 재해량이 가장 큰 이유는 오전에 작업자들이 작업을 시작함에 있어 충분한 스트레칭과 준비운동을 수행하지 않고 신체적, 정신적으로 아직 준비되지 않은 상태에서 작업에 임하게 되면서 많은 재해가 발생하는 것으로 판단된다.

[그림 3.10]을 참고하여 8:00~12:00구간은 100, 12:00~16:00구간은 80, 16:00~18:00구간은 60, 8시 이전구간은 40, 18시 이후구간은 20으로 값을 설정하였다.

3.1.5 작업자 숙련도 $H_{workmanship}$

건설기술의 발달로 인해 건설현장의 자동화 및 기계화가 진행되고 있는 추세이지만 그러한 자동화 기계를 다루는 것은 작업자이고, 골조공사에서 진행되는 철근의 조립이나 볼트의 조임, 마감공사에서의 작업 등과 같이 인력이 필요한 부분이 상당하기 때문에 아직까진 건설현장에서의 인력은 필수적이라 할 수 있다. 따라서 작업자의 숙련도는 건설공사의 원활한 진행 및 안전사고의 유무로 직결하는 사항이다. 작업자 조건요소는 작업자의 경력 근속기간별 재해 발생량을 참고하여 [그림 3.11]에 나타냈다[19].

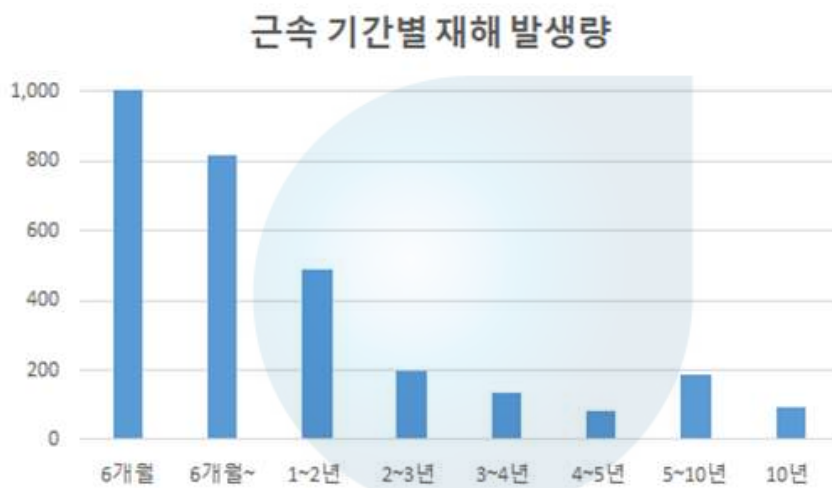


그림 3.11 작업자의 근속기간별 재해 발생량

[그림 3.11]을 보면 예상과 같이 6개월 이하의 경력을 가지고 있는 작업자들에게서 많은 안전사고가 일어났고 경력이 증가할수록 재해발생량이 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 해당 항의 구간을 작업자의 숙련도를 기준삼아 6개월 미만, 6개월 이상~1년 미만, 1년 이상~3년 미만, 3년 이상~5년 미만, 5년 이상으로 총 5가지 구간으로 정의하였다. 구간별 재해 발생량은 [그림 3.12]과 [표 3.5]에 나타냈다.

표 3.5 작업자 숙련도 구간별 재해량

구분	6개월 미만	6개월 ~ 1년 미만	1년 ~ 3년 미만	3년 ~ 5년 미만	5년 이상
재해량	21627	815	686	220	278
비율	92%	3%	3%	1%	1%

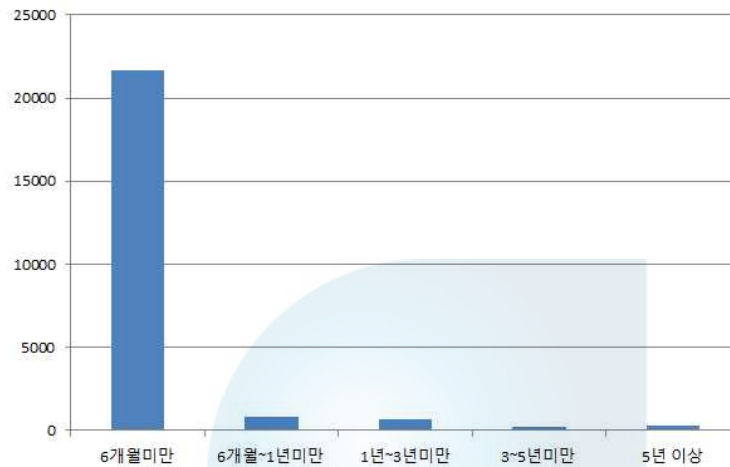


그림 3.12 작업자 숙련도 구간별 재해량

[표 3.5]와 [그림 3.12]를 보면 압도적으로 6개월 미만의 숙련도에서 재해가 발생하는 것을 알 수 있으며 그 외의 구간은 약 8%의 재해율만을 보이고 있다. 이는 안전사고에 있어 작업자의 숙련도가 매우 중요하다는 것을 시사하고 있고 재해를 줄이기 위해선 숙련도가 부족한 작업자들 위한 집중적인 안전교육이 필요하다는 것을 알 수 있다.

위의 내용들을 참고하여 6개월 미만은 100, 6개월~1년 미만은 80, 1년~3년 미만은 60, 3년~5년 미만은 40, 5년 이상은 20의 값을 적용하였다. 하지만 본항의 6개월 미만과 바로 다음 구간인 6개월~1년 미만구간과의 재해 수는 약 26배정도 차이가 난다. 이렇게 1구간과 2구간의 차이가 확연하게 나고 있지만 적용 값의 차이가 20밖에 나지 않는 부분에 대해서는 추후 연구 및 설문, 사례조사를 통해 보완해야 할 필요성이 있다.

3.1.6 작업자 평균연령 $H_{age\ average}$

위 항에서 언급한 것과 같이 건설기술의 발달과는 별개로 건설현장에서 작업자라는 인력은 필수적이다. 이러한 작업자들의 숙련도는 매우 중요하지만 건설현장의 특성상 신체적인 활동이 매우 큰 비중을 차지하기 때문에 작업자의 평균연령에 따른 신체조건이 매우 중요하다. 따라서 건설현장의 작업자 평균연령에 따른 재해 발생량을 조사하여 [그림 3.13]에 나타냈다[19].

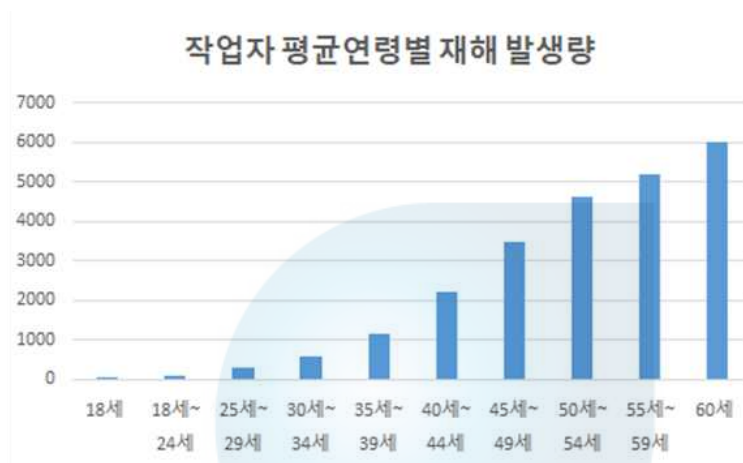


그림 3.13 작업자 평균연령 별 재해 발생량

예상과 마찬가지로 평균연령이 증가할수록 재해발생량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 연령이 증가할수록 신체능력이 떨어지기 때문에 나타나는 경향일 수 있다. 또한 건설현장의 특성상 대부분 야외에서 작업이 진행되기 때문에 혹서기 때와 같이 고온에 노출된다면 신체적으로 노쇠한 고 연령자들이 신체적인 스트레스를 크게 받을 수 있다. 그리고 해를 거듭할수록 우리나라의 건설현장 작업자들의 고령화가 진행되고 있는 것을 감안하면 고연령 구간에서 많은 재해가 발생한 것은 당연한 이치라고 판단할 수 있다.

따라서 [그림 3.13]을 참고하여 작업자 평균연령의 구간을 30세 미만, 30세 이상~40세미만, 40세 이상~50세 미만, 50세 이상~60세 미만, 60세 이상으로 총 5구간으로 나누어 구간 값을 결정하였고 [표 3.6]과 [그림 3.14]에 구간에 따른 재해 발생량을 나타냈다.

표 3.6 작업자 평균연령 구간별 재해량

구분	30세 미만	30세 ~ 40세 미만	40세 ~ 50세 미만	50세 ~ 60세 미만	60세 이상
재해량	403	1,724	5,698	9,821	6,023
비율	2%	7%	24%	41%	25%

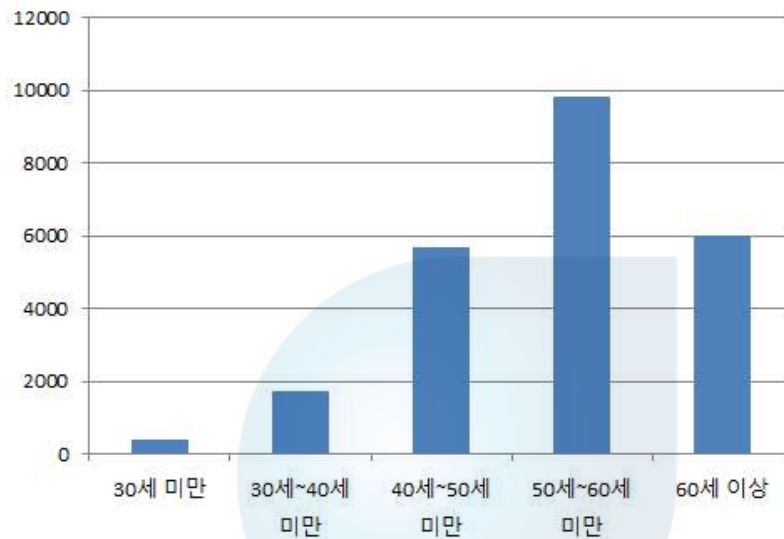


그림 3.14 작업자 평균연령 구간별 재해량

[그림 3.14]를 보면 50세~60세 미만이 가장 많은 재해율을 보이고 있고 30세 미만이 가장 낮은 재해율을 보이고 있다. 따라서 50세~60세 미만은 100, 60세 이상은 80, 40세~50세 미만은 60, 30세~40세 미만은 40, 30세 미만은 20의 구간 값을 적용하였다.

이는 30세 미만의 작업자들이 신체적으로 더 건강하여 안전사고를 일으키지 않을 수 있는 것으로 볼 수 있지만 다른 한편으로는 건설현장에서의 작업자의 연령대를 보여주는 지표라고 할 수 있다. 따라서 본 항의 작업자 평균연령의 지수는 추후 연구 및 조사를 통하여 보완할 필요성이 있다.

3.2 가중 계수

본 연구에서는 건설현장에서 가설공사가 진행됨에 있어 상존하고 있는 주요요인들을 기상환경요소, 작업조건요소, 작업자조건요소로 나누었다. 이러한 주요요인들은 요소마다 재해와 연관되는 중요도가 다르기 때문에 합리적으로 지수화 하기 위해 각각의 주요요인에 대한 가중계수를 추정하였다.

[표 3.7]은 고용노동부에서 발간한 산업재해현황분석 중 업종별, 발생형태별 재해발생 현황이다. 재해의 형태로는 떨어짐, 넘어짐, 부딪힘, 물체에 맞음, 무너짐, 끼임, 절단, 베임, 찢림 등 여러 가지 재해의 종류가 있으며 이를 기상환경요소, 작업조건요소, 작업자조건요소로 나누어 재해의 수를 구분하였다[19].

표 3.7 업종별 발생형태별 재해발생현황

작업종류	떨어짐	넘어짐	부딪힘	물체에 맞음	무너짐	끼임
재해량	7,908	3,385	2,045	3,002	308	1,960
작업종류	절단, 베임, 찢림	감전	폭발과열	화재	깔림 뒤집힘	이상온도 접촉
재해량	2,218	144	71	91	761	104
작업종류	빠짐, 익사	무리한 동작	화학접촉	산소결핍	장내 교통사고	장외 교통사고
재해량	8	558	61	10	5	228
작업종류	질병	체육행사	폭력행위	동물상해		
재해량	734	6	8	7		

1) 기상환경요소

무리한 동작, 산소결핍

2) 작업조건요소

물체에 맞음, 폭발과열, 화재, 깔림-뒤집힘, 화학접촉, 장내교통사고, 장외교통사고, 동물상해

3) 작업자조건요소

떨어짐, 넘어짐, 부딪힘, 끼임, 절단-베임-찢림, 감전, 이상온도접촉, 빠짐-익사, 질병, 체육행사, 폭력행위

위와 같이 주요요인에 해당하는 재해발생형태를 저자와 전문가의 공학적인 판단에 근거하여 구분하였고 그 비율은 다음 [표 3.8]과 같다.

표 3.8 주요요인별 재해 현황 및 비율

주요요인	기상환경요소	작업조건요소	작업자조건요소	합계
재해 수	568	4534	18520	23622
비율	2%	19%	78%	100%

[표 3.8]을 보면 작업자 조건요소가 가장 큰 비중인 78%를 차지하는 것을 알 수 있고 다음으로 작업조건요소가 19%, 기상환경요소가 가장 낮은 2%를 나타내고 있다. 이는 발생형태별로 재해를 구분하는 과정에서 작업자의 상해 위주로 구분을 하였기 때문에 기상환경요소에 대한 부분이 카테고리에 포함되기 어려워 과소평가되었다고 할 수 있다. 따라서 기상환경요소는 고온으로 인해 작업자들의 신체적, 정신적 스트레스를 불러일으킬 수 있기 때문에 작업자 조건요소에 영향을 줄 수 있다고 판단하였다. 따라서 다음과 같이 주요요인의 가중계수를 정의하였다.

$$w_1 = 0.1, w_2 = 0.2, w_3 = 0.7 \quad (\text{단 } w_1 + w_2 + w_3 = 1.0) \quad (3.1)$$

여기서, w_1 = 기상환경요소 가중계수

w_2 = 작업조건요소 가중계수

w_3 = 작업자조건요소 가중계수

3.3 가설공사 위험도 지수(CTRI) 모델제안

본 연구에서는 가설공사와 관련이 있는 3가지 주요요인을 정의하였고 주요요인을 6가지의 세부요인으로 구분하였고, 각각의 통계자료를 참고하여 가장 불리한 조건에 대해 구간을 설정하고 적용 값을 정의하였다. 정리하면 다음 [표 3.9]~[표 3.14]와 같다.

표 3.9 기상 조건

작업기상	Range Value
3~4월 (9.8℃)	20
5~6월 (20.2℃)	40
7~9월(24.0℃)	100
10~11월 (12.6℃)	60
12~2월(1.0℃)	80

표 3.10 작업 규모

작업자규모	Range Value
5~9명	100
10~49명	80
50~299명	60
300~999명	40
1000명 이상	20

표 3.11 연관 작업공종

연관작업	Range Value
가설	60
토공사	40
골조공사	100
마감공사	80
해체	20

표 3.12 작업시간대

작업시간	Range Value
8시 이전	40
08:00~12:00	100
12:00~16:00	80
16:00~18:00	60
18시 이후	20

표 3.13 작업자 숙련도

작업자숙련도	Range Value
6개월 미만	100
6개월 ~ 1년	80
1 ~ 3년	60
3 ~ 5년	20
5년 초과	40

표 3.14 작업자 평균연령

평균연령	Range Value
30세 이하	20
30세 ~ 40세	40
40세 ~ 50세	60
50세 ~ 60세	100
60세 이상	80

가중계수를 포함한 최종적인 가설공사위험도지수(CTRI)는 다음과 같다.

$$CTRI = w_1 Ef + w_2 Wf + w_3 Hf \quad (3.2)$$

$$w_1 = 0.1, w_2 = 0.2, w_3 = 0.7 \quad (\text{단 } w_1 + w_2 + w_3 = 1.0)$$

여기서, Ef (Environmental Factor) = $E_{weather\ condition}$

$$Wf \text{ (Work Traits Factor)} = (W_{time\ flow} + W_{work\ process} + W_{project})/3$$

$$Hf \text{ (Human Factor)} = (H_{workmanship} + H_{age\ average})/2$$

식(3.2)를 통하여 해당 건설현장에 CTRI지수를 산출할 수 있으며, 산출된 CTRI지수를 통하여 건설현장의 재해예방 및 관리를 할 수 있도록 [그림 3.15]와 같이 위험도 구간을 설정하였다. 총 ‘안전’, ‘주의’, ‘위험’구간의 3단계로 설정을 하였으며 안전구간을 제외하고 주의 구간에는 특별히 재해발생에 신경써야하고, 위험 구간에서는 사고발생 위험이 매우 높기 때문에 당장 작업을 멈추고 특별한 대책 및 위험요소들을 제거해야하며, 관리자뿐만 아니라 작업자들 스스로도 안전에 유의하고 신경 써야 되는 구간으로 설정하였다.

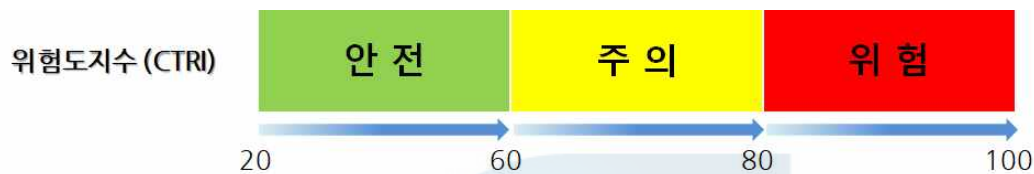


그림 3.15 위험도지수(CRTI)의 구간설정

3.4 가설공사 위험도 지수(CTRI)의 적용

본 연구에서 제시한 가설공사 위험도지수(CTRI)의 타당성을 확인하기 위해서 재해사례가 보고된 현장과 그와 비슷한 규모의 현장 사례를 조사하여 CTRI를 적용하고 분석하였다. [그림 3.16]는 사고가 발생한 용인물류센터 신축현장이며, 비슷한 규모의 현장사례는 구미 D공장 신축현장이다[20]. 두 사례는 공사의 규모와 현장의 진행상황이 유사한 것으로 확인되었으며, 사고사례의 경우는 CTRI를 산출하기 위한 자세한 자료 획득에 한계가 있기 때문에 관련 기사, 전문가 및 저자의 공학적 판단 및 가정을 통하여 연구를 진행하였다.

[표 3.15]는 2017년 10월에 재해가 발생한 용인물류센터 신축현장의 사고사례를 분석하여 CTRI모델의 세부요소 6가지에 대해 구분한 지수이며, [표 3.16]은 비슷한 규모의 현장사례로 채택된 구미 D공장 신축공사현장의 CTRI모델의 지수이다.



(a) 용인물류센터 신축현장(2017)



(b) 구미 D공장 신축현장(2017)

그림 3.16 사례적용 현장

표 3.15 용인물류센터 신축현장 CTRI모델 적용

(a) 기상 조건

작업기상	Range Value
3~4월 (9.8℃)	20
5~6월 (20.2℃)	40
7~9월 (24.0℃)	100
10~11월 (12.6℃)	60
12~2월 (1.0℃)	80

(b) 작업 규모

작업자규모	Range Value
5~9명	100
10~49명	80
50~299명	60
300~999명	40
1000명 이상	20

(c) 연관 작업공종

연관작업	Range Value
가설	60
토공사	40
골조공사	100
마감공사	80
해체	20

(d) 작업시간대

작업시간	Range Value
8시 이전	40
08:00~12:00	100
12:00~16:00	80
16:00~18:00	60
18시 이후	20

(e) 작업자 숙련도

작업자숙련도	Range Value
6개월 미만	100
6개월 ~ 1년	80
1 ~ 3년	60
3 ~ 5년	20
5년 초과	40

(f) 작업자 평균연령

평균연령	Range Value
30세 이하	20
30세 ~ 40세	40
40세 ~ 50세	60
50세 ~ 60세	100
60세 이상	80

용인물류센터 사고사례의 기상조건으로는 10월 경 사고가 발생했으므로 60으로 하였고, 작업의 규모는 구미 D공장의 규모와 비슷하므로 50~299명인 60으로 추정하였다. 또한 토공사 작업을 진행 중에 사고가 발생했으므로 연관 작업공종은 40으로 구분하였다. 사고 발생시각이 오전 10시 30분임을 고려해 작업시간대는 100으로 적용하였고 작업자의 숙련도와 평균연령은 사고의 형태를 고려하여 각각 80과 100으로 가정하였다.

표 3.16 구미 D공장 신축현장 CTRI모델 적용

(a) 기상 조건		(b) 작업 규모	
작업기상	Range Value	작업자규모	Range Value
3~4월 (9.8℃)	20	5~9명	100
5~6월 (20.2℃)	40	10~49명	80
7~9월 (24.0℃)	100	50~299명	60
10~11월 (12.6℃)	60	300~999명	40
12~2월 (1.0℃)	80	1000명 이상	20
(c) 연관 작업공종		(d) 작업 시간대	
연관작업	Range Value	작업시간	Range Value
가설	60	8시 이전	40
토공사	40	08:00~12:00	100
골조공사	100	12:00~16:00	80
마감공사	80	16:00~18:00	60
해체	20	18시 이후	20
(e) 작업자 숙련도		(f) 작업자 평균연령	
작업자숙련도	Range Value	평균연령	Range Value
6개월 미만	100	30세 이하	20
6개월 ~ 1년	80	30세 ~ 40세	40
1 ~ 3년	60	40세 ~ 50세	60
3 ~ 5년	20	50세 ~ 60세	100
5년 초과	40	60세 이상	80

구미 D공장의 신축현장의 조건은 용인물류센터의 사고사례와 시기 및 시간, 작업규모를 동일한 조건으로 하였다. 사례조사 당시 마감공사를 진행하고 있었으며 작업자의 숙련도와 평균연령은 현장소장의 조사를 통하여 이루어졌

다. 두 사례들을 정리하면 다음 [표 3.17]과 같다.

표 3.17 두 사례의 CTRI 세부요소 정리

구분	기상조건	작업규모	연관 작업공정	작업시간	작업자 숙련도	작업자 평균연령
용인A 사례	60	60	40	100	80	100
구미D 사례	60	60	80	100	60	60

두 사례에 대하여 식(3.2)를 이용하여 CTRI를 계산하면 다음과 같다.

1) 용인 물류센터 신축현장

$$CTRI = w_1Ef + w_2Wf + w_3Hf$$

$$CTRI = (0.1 \times 60) + (0.2 \times 200/3) + (0.7 \times 180/2) = 82.3$$

2) 구미 D공장 신축현장

$$CTRI = w_1Ef + w_2Wf + w_3Hf$$

$$CTRI = (0.1 \times 60) + (0.2 \times 240/3) + (0.7 \times 120/2) = 64$$

사례조사를 통해 두 현장의 조건에 대한 CTRI를 산출한 결과, 실제 사고가 일어난 용인물류센터 신축현장에서는 82.3의 CTRI지수가 산출되었으며, 이는 [그림 3.15]를 참고하면 ‘위험’구간에 속하는 것을 알 수 있다. 반면에 비슷한 공사 규모의 무사고 사례로 채택된 구미 D공장 신축현장은 CTRI지수가 64로서 ‘주의’구간으로 나타났다.

본 절은 비슷한 규모의 두 현장을 CTRI모델에 적용하여 CTRI지수를 산출하였고 비교 분석해 보았다. 비교 분석 결과로는 무사고 현장에 비해 사고현장이 큰 CTRI지수를 나타냈다. 하지만 CTRI지수의 타당성을 나타내기엔 사례조사가 부족하다고 판단된다. 따라서 추후 사례조사를 통하여 CTRI지수의 검증을 보완할 필요성이 있다.

제 4 장 결 론

본 연구에서는 경영학의 관리용 지수화 기법을 이용하여 가설공사 공종에서의 발생할 수 있는 안전사고를 예측 및 예방할 수 있도록 다양한 주요인자들을 분석하고 지수화 하여 ‘가설공사 위험도 지수’(Construction Temporary-work Risk Index, 이하 CTRI)를 제안 하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 가설공사에 관련된 위험관련 주요요소로서 기상환경요소, 작업조건요소, 작업자조건요소 총 3가지로 구분할 수 있으며 이의 세부요소로서 기상조건, 작업규모, 연관 작업공종, 작업시간대, 작업자 숙련도, 작업자 평균연령으로 나눌 수 있다.

(2) 기상조건은 7~9월, 작업규모는 5~9명, 연관 작업공종은 골조공사, 작업시간대는 08:00~12:00, 작업자 숙련도는 6개월 미만, 작업자 평균연령은 50~60세에서 가장 재해가 많이 발생했다.

(3) 가설공사 주요요소인 기상환경요소, 작업조건요소, 작업자조건요소의 가중계수인 w_1 , w_2 , w_3 은 각각 0.1, 0.2, 0.7로 정의 하였다.

(4) 실제 사고사례와 그와 비슷한 규모의 사례를 비교하였을 때 사고사례의 CTRI지수는 82.3, 무사고 사례의 CTRI지수는 64로 사고사례의 CTRI지수가 더 크게 산출되었다.

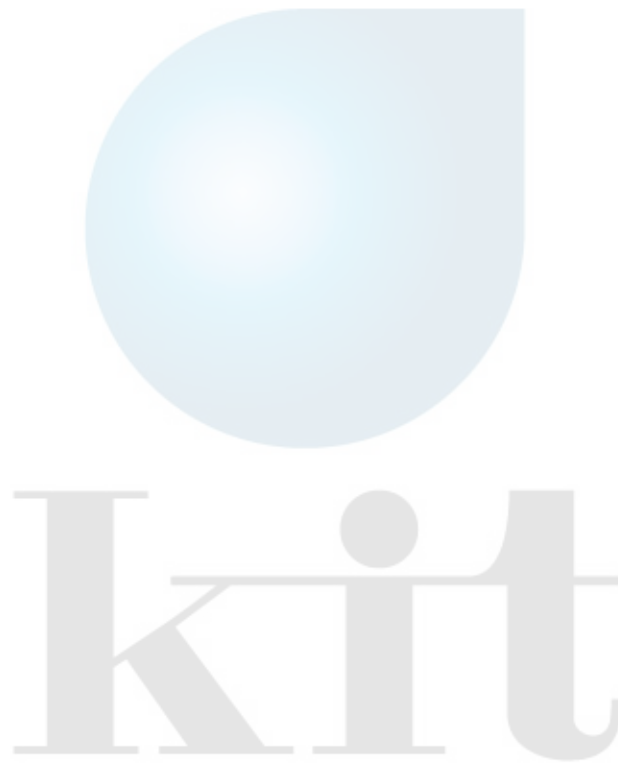
(5) 본 연구의 CTRI 지수 모델은 건설현장 가설공사에서 매번 발생하는 안전사고를 미연에 방지하고 예측하여 원활한 공사 진행에 도움을 줄 수 있는 지수이다.

(6) 안전사고 방지를 위한 위험도지수는 [그림 3.15]와 같이 안전, 주의, 위험의 3단계로 분류하는 것이 합리적일 것이다.



그림 3.15 위험도지수(CRTI)의 구간설정

우리나라 건설현장의 특성상 CTRI지수가 “안전”단계에 위치하기에는 매우 어렵다. 따라서 CTRI를 통해 판단되는 안전한 작업환경은 “주의” 단계라고 할 수 있다. 본 연구에서 비교한 두 현장의 사례조사뿐만 아니라 추후 연구를 통하여 더 많은 사례들을 조사하고 CTRI를 적용함으로써 신뢰성을 높일 필요가 있다.



[참고문헌]

- [1] 통계청, “공사규모별 세분공사종류별 계약방법별 계약실적”
<http://kostat.go.kr/portal/korea/index.action>
- [2] 고용노동부, 고용노동백서, 2015
- [3] 고성석, 송혁, 이재용, “건축공사 공종별 위험도에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 - 구조계, 제20권, 제5호, pp 136-143, 2004.
- [4] 이종국, 이웅민, 권민구, 이현경, 송태호, “건축시공 관리용 가설작업 위험도 지수 모델개발”, 예술인문사회융합멀티미디어논문지, 제8권, 제8호, pp.221-230, 2018.
- [5] 서용범, “건설공사 현장의 이동식 크레인 작업 위험도 지수 개발”. 금오공과대학교 석사학위논문, 2019.
- [6] 염창열, 안광호, 김형중, 한규대, 건축기사실기16차개정 2쇄판, 한솔아카데미, pp.92.
- [7] 이재섭, 김만장, 최기훈, “가설시설물의 재해발생 매커니즘 분석을 통한 효율적인 안전관리”, 대한건축학회논문집:구조계, 제26권, 제11호, pp.129-136, 2010.
- [8] 박경호, 이훈구, 백종건, 김재준, “공통가설공사의 관리를 위한 실적 데이터베이스 기반의 정보 관리 시스템 개발-민간 공동주택공사를 중심으로-”, 대한건축학회논문집:구조계, 제19권, 제11호, pp.141-148, 2003.
- [9] 이종국, 류성룡, 김진우, 김병욱, 유영화, 김영상, “건설재해 예방을 위한 혹서기 건설작업온도지수 프로토타입 개발”, 한국건축친환경설비학회 논문집, 제9권, 제2호, pp.181-188, 2015.
- [10] Ken PARSONS, Heat Stress Standard ISO 7243 and its Global Application, Industrial Health, 44, pp.368-379, 2006.
- [11] Grahame M., Wet-bulb globe temperature (WBGT) its history and its limitations, Issue 1, pp.20-32, 2008.
- [12] 이종국, 채현희, 박유진, 서보관, “혹서기 건설안전을 위한 건설작업 온도 지수 개선”, 예술인문사회융합멀티미디어논문지, 제7권, 제4호, pp.343-353, 2017.

- [13] 한국스포츠정책과학원, 2015 국민체력 실태조사, 한국문화관광연구원, pp.165-181, 2015.
- [14] Müller, E. A., "Ein Leistungs-Pulsindex als Massder Leistungsfähigkeit", Arbeitphysiologie, Vol.14, pp.271-284, 1950.
- [15] Parker, H. W., Oglesby, C. H., Method Improvement for Construction Managers, McGraw-Hill, Inc., 1972.
- [16] 통계청, "인구총조사 : 성별/산업(중분류)별/근로장소별 취업인구(15세이상)-시도", <http://kostat.go.kr/portal/korea/index.action>.
- [17] 대한건설협회, 민간건설백서, 2012.
- [18] 남국현, 박근준, "거푸집공사의 중대재해발생률 감소방안", 한국건설관리학회 전국 대학생 학술발표대회 논문집, pp.191-194, 2006.
- [19] 산재예방정책과, 2014년 산업재해 현황분석 책자, 고용노동부, 2015.
- [20] 기상청 날씨누리, 기상자료개방포털(2013~20160, <http://www.kma.go.kr/>).
- [21] Internet News, <http://www.newscj.com/news/articleView.html?idxno=457615>, (2017.10.23.)

가
신공사
위협도
지수
모
텔
제
안

학 공
위 학
논 석
문 사
2
0
1
9
년
6
월

송
태
호

- 41 -